



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA CHLADÍCÍ SKŘÍNĚ

PRODUCTION OF COOLING CABINET

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Halabrín

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Marek Halabrín**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba chladicí skříně

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na technologii výroby chladicí skříně určené pro elektrotechniku. Skříň je z ocelového plechu a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

### Cíle bakalářské práce:

- Rozbor současného stavu,
- srovnání možných způsobů výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- provedení aktuální literární studie zvolené technologie,
- návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- návrh sestavy a konstrukční dokumentace,
- technicko–ekonomické hodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 08-311-3182-9.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Milan HORÁČEK. Technologie II. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.

HOSFORD, William F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

HALABRÍN Marek: Výroba chladicí skříně.

---

Práce předkládá návrh výroby chladicí skříně. Ta je vyrobena z ocelového korozivzdorného austenitického plechu oceli třídy 17 240 o tloušťce 1,5 mm. Návrh je zpracováván na základě výkresové dokumentace. Vyráběný počet kusů je 200. Výroba proběhne technologiemi vysekávání a ohraňování, na které je zpracována i literární studie. Pro výrobu jsou zvoleny stroje Finn Power C5 s jmenovitou silou 300 kN a TruBend 5170 s jmenovitou silou 1700 kN. Nástroje jsou použity normalizované, vyrobeny z nástrojové kalené oceli a oceli 42CrMo4. V práci je též obsaženo technicko-ekonomické zhodnocení, které porovnává náklady na výrobu při různých počtech kusů.

Klíčová slova: Ocel 17 240, tváření, vysekávání, ohraňování, chladicí skřín

## **ABSTRACT**

HALABRÍN Marek: Production of cooling cabinet.

---

The thesis deals with presenting an assembly proposal of a cooling cabinet. The cooling cabinet is made from an austenitic steel plate of the ČSN 17 240 grade with a thickness of 1.5 millimetres. The assembly proposal is composed according to the design documentation. The number of the assembled pieces is 200. The manufacturing shall be made with the use of bending and punching. These manufacturing techniques form a part of this thesis. Finn power C5 with a nominal force of 300 kN and Trubend 5170 with a nominal force of 1700kN are the machines chosen for the manufacturing process. These are standardized machines made from a quenched steel and a steel of the 42CrMo4 type. A technological-economic evaluation comparing expenses of the manufacturing also forms a part of the thesis as well.

Keywords: 17 240 steel, forming, punching, bending, cooling cabinet

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HALABRÍN, Marek. *Výroba chladicí skříně*. Brno, 2019. 41 s, 1 výkres, 4 přílohy, CD. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116848>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24. 5. 2019

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Dále chci poděkovat rodičům za jejich trpělivost při mém studiu, panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za informace ke zpracování BP, kolegům v práci a Ondřejovi Slavičkovi za cenné rady ke zpracování bakalářské práce.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>ÚVOD</b>	10
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b>	11
1.1 Výrobní možnosti	12
<b>2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ</b>	15
2.1 Proces střihání	15
2.1.1 Střižná síla a práce	16
2.1.2 Střižná vůle	16
2.2 Technologie ohýbání	17
2.2.1 Ohraňování	18
2.2.2 Poloměr ohybu	18
2.2.3 Neutrální osa a délka polotovaru	19
2.2.4 Aspekty ovlivňující proces ohýbání	20
2.2.5 Ohybová síla a práce	21
2.3 Stroje	21
2.4 Nástroje	22
2.4.1 Vysekávací nástroje	22
2.4.2 Ohraňovací nástroje	24
2.5 Technologičnost vysekávání a ohraňování	25
<b>3 NÁVRH VÝROBY</b>	27
3.1 Výpočty pro střih	27
3.2 Výpočty pro ohyb	28
3.2.1 Výpočet poloměru ohybu	28
3.2.2 Výpočet délky polotovaru	29
3.2.3 Výpočet maximální síly ohybu	30
3.3 Nástřihový plán	30
3.4 Postup vysekávání a ohraňování	32
3.4.1 Postup vysekávání	32
3.4.2 Postup ohraňování	33
3.5 Vysekávací stroj	35
3.6 Ohraňovací stroj	36



<b>3.7 Volba nástrojů .....</b>	<b>36</b>
3.7.1 Volba nástrojů pro vysekávací lis .....	37
3.7.2 Volba nástrojů pro ohraňovací lis .....	38
<b>3.8 Volba technologie svařování .....</b>	<b>38</b>
<b>3.9 Návrh technologického postupu .....</b>	<b>39</b>
<b>4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>40</b>
<b>5 ZÁVĚRY .....</b>	<b>41</b>
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

## ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

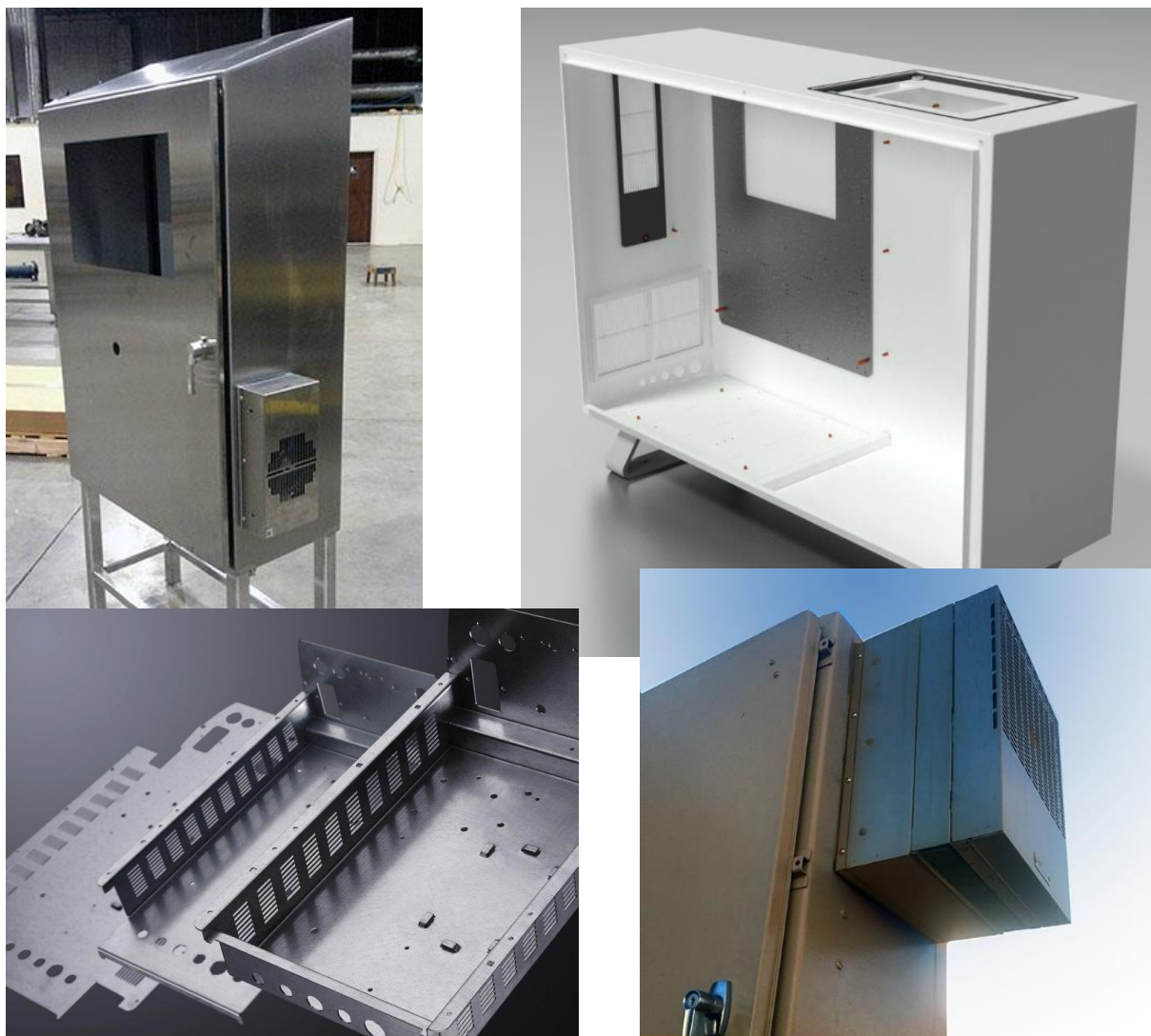
V dnešní době se elektrotechnické součástky staly nedílnou součástí běžného života.

Aktivní elektrotechnické součástky zajišťují funkčnost například v počítačích nebo rozváděcích. Součástky je nutno chránit před vnějšími vlivy (prach, nečistoty, neúmyslné poškození), provozovat za určitých podmínek jako např. do požadovaných teplot, relativní vlhkosti apod., ale je třeba dbát i na bezpečnost pracovníků a zamezit případnému úrazu elektrickým proudem při dotyku s živými částmi.

Tyto a další požadavky musí splňovat chladicí skříně (obr. 1). Při průchodu proudu se elektricky vodivý materiál zahřívá. Vzniklé teplo se předává sáláním do okolí. Komponenty, obzvláště v relativně malém prostoru, se mohou přehřívat. Vysoké teploty mají negativní vliv na spolehlivost a životnost zařízení.

Správný návrh skříně souvisí s použitým materiálem na její výrobu, na vhodně zvoleném způsobu chlazení. U pasivního chlazení se může využít těla skříně, nebo se umístí nepohyblivá součástka s navařenými žebry a zvětší se tak plocha pro odvod tepla. Aktivní chlazení zajišťuje proudící vzduch (přiváděn obvykle za pomoci ventilátorů).

Většina skříní se v současnosti vyrábí tvářením, především z důvodu menší odpadovosti a pracnosti. Svařování se používá pouze pro spojování stěn.



Obr. 1 Skříně na chlazení elektronických součástek [6], [7], [8]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [4], [5], [9], [10], [11]

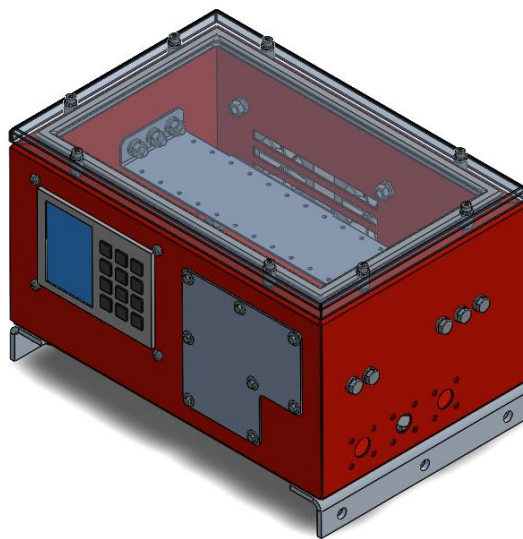
V bakalářské práci bude řešena výroba plechové skříně pro chlazení elektro součástek, viz obr. 2 a 3. Chladicí skříně se používají v mnoha odvětvích. Obecně se jedná o aktivní nebo pasivní chlazení součástí. Skříň lze vyrobit například

z oceli či hliníku. Navrhovaná skříň se skládá z vlastní vyráběné skříně, která je připevněná na dva profily typu „L“ pro upevnění do konstrukce, předního servisního plechu, displeje s ovládacími prvky a víka s vodotěsnou gumou. Skříň je chlazená aktivním způsobem, a to dvěma větráky upevněnými v plechovém boxu s víkem s otvory odvádějícími vzduch. Tato konstrukce byla volena pro možnost snadného servisování. Uvnitř skříně je pomocí šroubových spojů připevněna plechová zohýbaná konstrukce k upevnění elektronických součástí. Na jednom boku se nachází vývody pro napájení součástí a na druhé pro konektory LAN (z angl. Local area network; místní síť). Samotná skříň je konstruovaná jako voděodolná.

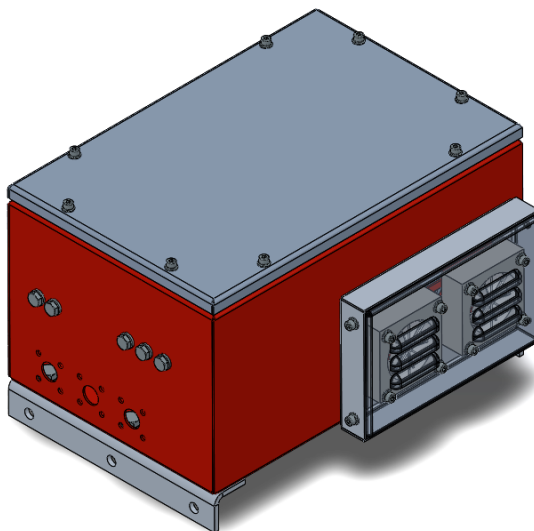
Cílem práce je navrhnout vhodnou technologii výroby se zaměřením na ideální konstrukční, technologické a základní ekonomické hledisko. Výroba bude pro sérii 200 kusů za rok s možným výhledem rozšíření za rok. Rozměry skříně jsou 300×200×150 mm. Pro výrobu tohoto typu součástí se běžně používá korozivzdorná ocel 17 240 (1.4301) (tab. 1), která bylo zvolena i pro tento návrh. Výchozím polotovarem bude tabule plechu o tloušťce 1,5 mm. Vzhledem ke konstrukci skříně nejsou kladeny přísnější požadavky na tolerance, pouze na upevnění vnitřních plechů pro elektronické komponenty.

Tab. 1 Základní chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu 17 240 [10], [11].

Materiál	Ocel ČSN 17 240 - DIN 1.4301			
Chemické složení	C [%] Uhlík	Cr [%] Chrom	Ni [%] Nikl	Mn [%] Molybden
	<0,07	17,5 ÷ 19,5	8,0 ÷ 10,5	<2,0
Mechanické vlastnosti	R <sub>m</sub> [MPa] Pevnost	R <sub>p0,2</sub> [MPa] Mez kluzu	A 50 [%] Tažnost	
	540 ÷ 750	230	45	
Vlastnosti pro zpracování	Tažnost tváření	Svařování	Korozní odolnost	
	Vynikající	Dobré	Dobré	



Obr. 2 Model chladicí skříně zepředu



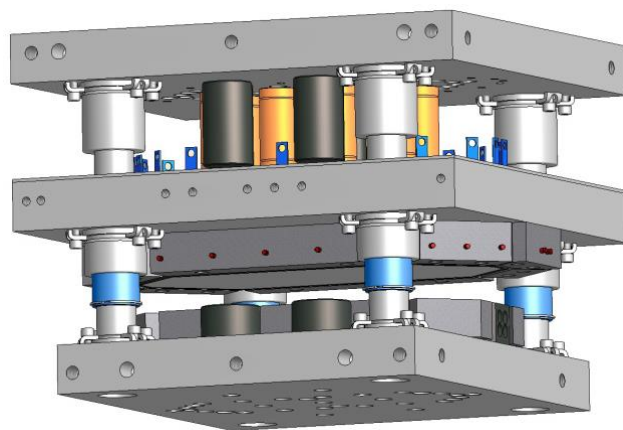
Obr. 3 Model chladicí skříně zezadu

Důvodem k volbě tohoto materiálu je jeho vynikající tvaritelnost nutná k výrobě ohýbané součásti, aby v různých osách ohybu nedocházelo k rozdílům ve výsledném tvaru. Materiál má dobrou svařitelnost, která je nezbytná pro konečnou fázi výroby skříně. Důvodem je požadavek pevného spojení stěn, zajištění její voděodolnosti a také musí mít dobrou korozní odolnost. Odolnost proti korozi je nezbytná, neboť součást je umístěna trvale ve vlhkém prostředí, hrozí i možnost přímého kontaktu s dešťovou vodou. Nyní je třeba zvolit vhodnou technologii pro výrobu na základě výrobních požadavků.

## 1.1 Výrobní možnosti [1], [3], [6], [9], [12], [13], [14], [15], [16], [17]

Výroba bude řešena operacemi dělení a ohýbání materiálu. Před zahájením samotného návrhu výroby je nutné vybrat vhodnou technologii tak, aby splnila veškeré výrobní podmínky pro obě navržené operace. Zohledněny musí být faktory jako velikost série, velikost výrobku a strojní vybavení firmy, ve které se daná součást vyrábí. Důležitým faktorem je též cena výrobní série. Možné způsoby zhotovení dílu dělením:

- Metoda postupového stříhání (obr.4) – princip je založen na vzájemném působení střížníku a střížnice. Vzhledem k tvarové náročnosti vyráběné součásti a množství obsažených otvorů, by byla výroba konvenčního střížného nástroje velice nákladná a komplikovaná. Konstrukce by musela obsahovat velké množství nástrojů pro stříhání. Samotný střížný nástroj by byl velice rozměrný, což by nebylo ideální pro následnou volbu stroje. Také je nutné dělení samotného plechu na jednotlivé pásy před zavedením do nástroje. Z tohoto lze odvodit, že pro danou sérii by bylo vhodné zvolit metodu, kde není potřeba větší množství nenormalizovaných součástí.
- Metoda dělení laserem (obr. 5) – pracuje na principu roztavení materiálu v místě dělení, což mimo jiné znamená, že je materiál tepelně ovlivňován. Výhodou technologie je možnost vkládání celého plechu. Materiál není potřeba dělit, odpadá náročná manipulace s polotovarem a odpadá nutnost meziskladování. Laserovou technologií se běžně dělí materiály o větších tloušťkách. Pořizovací cena stroje je vyšší, tudíž je zpravidla volena v rámci kooperace. To zvyšuje cenu výsledného produktu. Tento typ nekonvenčního stroje v dnešní době není v itineráři každé firmy. Vhodnější je uvažovat o volbě běžnějšího a dostupnějšího způsobu dělení.



Obr. 4 Střížný nástroj [12]



Obr. 5 Řezání laserem [18]



- Vysekávání (obr. 6) – používá velkou škálu normalizovaných nástrojů, ale lze nechat vyrobít i libovolný tvar. Nejčastějšími průřezy jsou s kruhový, čtvercový nebo obdélníkový. Nevýhodou je nemožnost využití celé plochy materiálu kvůli úchopům plechu. Výhodou je možnost vkládání celého plechu a absence dělení materiálu, což snižuje manipulační čas na minimum a odstraňuje problém s meziskladováním. Provádí se děrování i vysekávání, a to v tomto pořadí. Metoda je vhodná i pro menší série, protože není potřeba výroby nenormalizovaných nástrojů. Většina firem již disponuje větším množstvím normalizovaných nástrojů a také samotnými stroji, jejich výroba není tak nákladná. Z těchto důvodů se jeví tato technologie jako nejvhodnější.



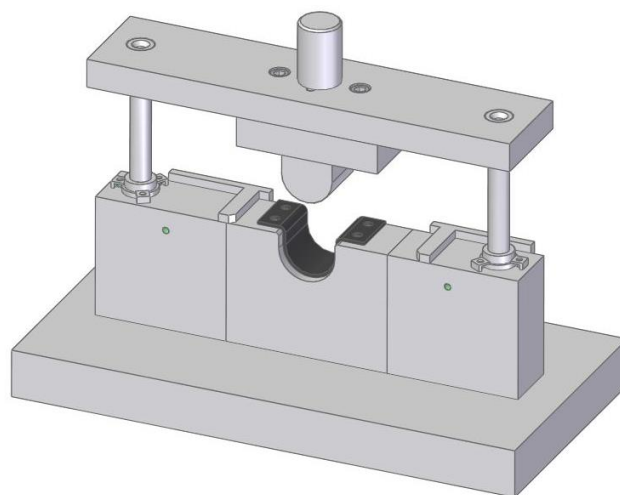
Obr. 6 Hydraulický vysekávací lis [17]

Možné způsoby zhotovení dílu ohýbáním:

- Ruční ohýbání (obr. 7) – funguje na principu přesného ustavení polotovaru mezi čelisti a jeho přitlačení. Plech se ohne pomocí madel do požadovaného úhlu, následně je vyjmut a otočen k dalšímu ohybu. Použití této metody pro sériovou výrobu by bylo velice neefektivní. Existuje několik důvodů. Zpracování velkého množství ohybů je časově náročné, a tím pádem značně nákladné. Také dosáhnout jednotné přesnosti u více kusů je opravdu obtížné. Tato metoda je spíše vhodná pro kusovou výrobu nebo výrobu, kdy není potřebná velká přesnost.
- Ohýbání v nástroji (obr. 8) – je založena na principu vtlačování materiálu ohybníkem do ohybnice. Je konstruován ze dvou hlavních částí, a to z pohyblivého ohybníku a pevné ohybnice připevněné k pracovní desce stroje. Materiálem je vystřižený plech vložený na dorazy. Lze ohýbat do tvaru „U“ i „V“. Nevýhodou je nutnost výroby nenormalizovaných součástí; pro daný výrobek by se jednalo o nadrozměrnou konstrukci, která by danou metodou byla velice obtížně výrobitelná. Je vhodné zvolit jinou technologii.



Obr. 7 Ruční ohýbačka [19]



Obr. 8 Postupový ohýbací nástroj [20]

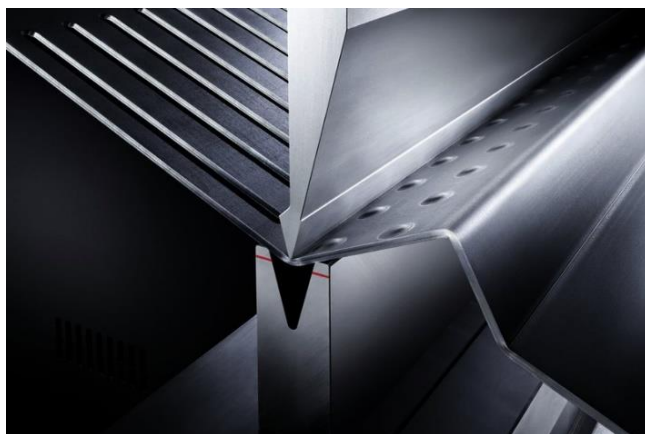
- Sdruženého nástroj (obr. 9) – jedná se o druh technologie založené na kombinaci stříhání a ohýbání. Nejprve je provedeno děrování a vystřihnutí součásti, následně je polotvar ve stejném nástroji i ohnut. Výhodou je, že obě potřebné operace jsou provedeny v jednom nástroji. Metoda je vhodná na větší, stotisícové série, jelikož konstrukce nástroje je nákladná a u menších sérií tudíž nevýhodná. Dalším negativem je, že konstrukce pro



Obr. 9 Postupový sdružený nástroj [21]

vyráběný díl by byla nadměrně rozměrná, a to jak plošně, tak také výškově. Z tohoto vyplývá, že na požadovanou sérii bude vhodnější použít jinou metodu.

- Ohraňovací lis (obr. 10) – ohraňovací lis je jednoúčelový stroj sloužící pro ohýbání součástek do požadovaného úhlu a tvaru. Pohyb stroje je horizontální s horní pohyblivou částí. Matrice neboli ohybnice je upevněna v dolní pevné části a ohybník v horním pohyblivém rámu. Pracovní délka stroje je až několik metrů. Jako nástroj slouží ohybník a ohybnice (matrice). Výhodou je nízká cena normalizovaných nástrojů nebo možnost zpracování velkých délek. Dále velká univerzálnost nástrojů, na nichž lze vyrobit různé úhly a použití je také pro různé materiály. Rychlost a přesnost je poměrně vysoká. Vhodnost je pro menší série, což je pro požadovanou výrobu vhodné, jelikož se jedná pouze o 200 ks.



Obr. 10 Ohraňovací lis [6]

Z popisu těchto možností vychází pro dělení materiálu jako nejvýhodnější metoda vysekávání na hydraulickém CNC lisu. Je možné vložit celý plech do prostoru nástroje. Tím odpadá časově a skladově náročné stříhání plechu na jednotlivé pruhy. Stroj je možné programovat dle potřeby a disponuje velkým množstvím použitelných normalizovaných nástrojů, kterým ho lze osadit. Oproti střížnému nástroji je výhodné to, že není potřeba vyrábět nástroje na míru a vysoká rychlost výroby. Vzhledem k CNC řízení je také zaručená vysoká přesnost. Na ohýbání je volen CNC ohraňovací lis, který má oproti ostatním metodám výhodu velkého množství nástrojů, kterým obvykle firma disponuje. Oproti ručnímu ohýbání je zaručená jednotná přesnost, jelikož se ohýbá do stejné matrice, a také je rychlejší. Vzhledem k programovatelnosti stroje lze navrhnout jakýkoliv úhel ohybu a vnitřní rádius závisí čistě na zvolených nástrojích.

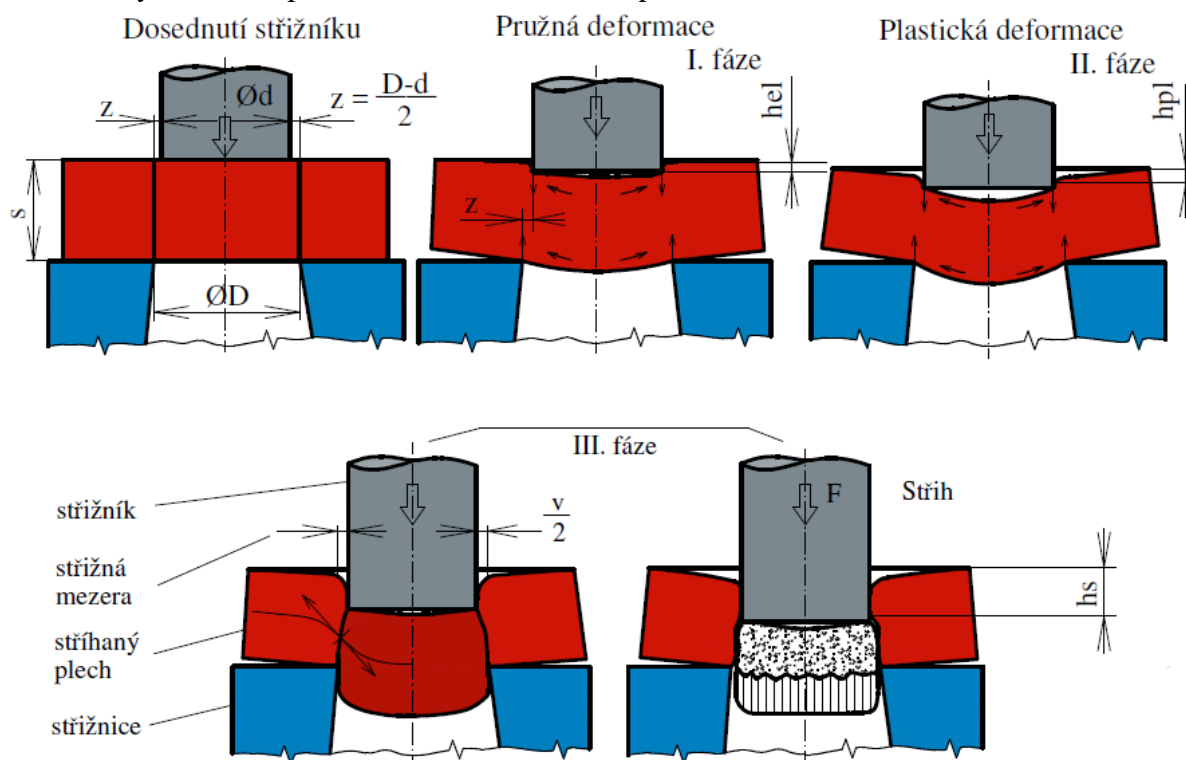
## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ [1], [2], [3], [13]

Technologie stříhání je plošné tváření za studena. Definuje se jako působení dvou břitů proti sobě, čímž se vytvoří stříh, nebo jako postupné stříhání. Tvary, které je možné stříhat, mohou tvořit otevřené či uzavřené křivky. Při tomto procesu je porušena soudružnost materiálu, který se následně oddělí od polotovaru. Na zpracování polotovarů se používá tvářecí stroj, jako například hydraulický lis.

Technologie ohýbání je tváření, při kterém je průřez zatěžovanou určitou silou. Následně vznikne trvalá deformace materiálu na hranici plasticity. Tímto procesem lze zhotovit libovolný úhel ohnutí s vnitřním rádiusem závislým na volbě ohybníku a jeho rádiusu.

### 2.1 Proces stříhání [1], [2], [3], [9], [13], [22], [23]

Stříhání lze obecně rozdělit na několik fází, kdy každá má svou specifickou oblast závislou na volbě materiálu, velikosti střížné vůle atd (obr. 11). Jedná se o několikafázovou operaci. Celý proces začíná ve chvíli, kdy se dostává do styku střížník se stříhaným polotovarem a končí v momentě jeho oddělení. V této fázi, první, dojde ke kontaktu střížníku se stříhaným materiálem. Nastává vedlejší jev, kdy se v materiálu objevuje pružný ohyb. Pružná deformace se projevuje při vniknutí střížníku přibližně v 5 až 8 % tloušťky stříhaného plechu. Tato hodnota je závislá na stříhaném materiálu a jeho mechanických vlastnostech. V následující, druhé, fázi střížník zvyšuje napětí působící na materiál, překonává mez kluzu, a způsobuje za pomoci smykového napětí oddělení stříhaného materiálu. Tento jev se objevuje v 10 až 25 % tloušťky zpracovávaného materiálu. Opět závisí na mechanických vlastnostech materiálu a jeho střížné vůli. Ve třetí fázi lze pozorovat oddělení materiál odtrhnutím. Zde mají největší podíl tahová napětí způsobující rychlé šíření trhlin mající za následek oddělení materiálu. Stejně jako v předchozí fázi, je rychlost oddělování ovlivněna mechanickými vlastnostmi materiálu a zvolenou střížnou vůlí. V poslední fázi dochází ke kompletnímu oddělení materiálu. Ve chvíli oddělení výstřížku od polotovaru nastává konec operace.



Obr. 11 Fáze stříhání [9]

### 2.1.1 Střížná síla a práce [9], [13], [24], [25], [26]

Pro určení vhodného stroje, který bude schopen provést stříh daného materiálu, je nutné vypočítat střížnou sílu. Ta je závislá na součinu pevnosti materiálu ve stříhu, velikosti střížné plochy a součiniteli otupení. Může být též ovlivněna úpravou konstrukce střížníku nebo střížnice, kdy se volí buď rovná nebo šikmá střížná plocha. Pokud probíhá vystřihování, volí se střížnice se zkosením a střížník rovný, u děrování je tomu naopak. V závislosti na střížné síle se odvodí velikost střížné práce.

Vztah pro střížnou sílu pro rovnoběžné střížníky:

$$F_S = \tau_s \cdot S \cdot \eta = 0,8 \cdot R_m \cdot l_o \cdot s \cdot \eta \text{ [N]} \quad (2.1)$$

kde:  $F_S$  – střížná síla [N]

$\tau_s$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

$S$  – střížná plocha [mm<sup>2</sup>]

$\eta$  – součinitel otupení (1,1 až 1,3) [-]

$R_m$  – mez pevnosti polotovaru [MPa]

$l_o$  – délka střížné křivky [mm]

$s$  – tloušťka polotovaru [mm]

Vztah pro střížnou práci:

$$A_S = \lambda \cdot F_S \cdot s_A \text{ [J]} \quad (2.2)$$

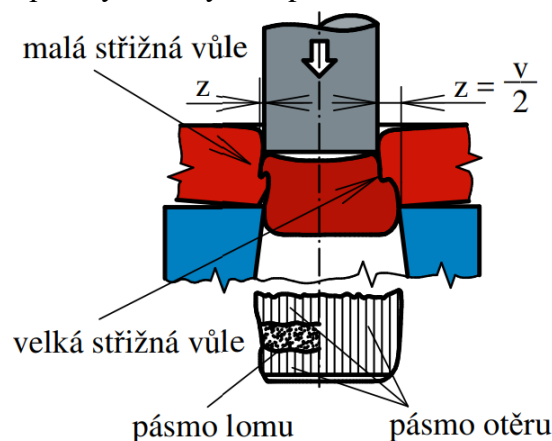
kde:  $A_S$  – střížná práce [J]

$\lambda$  – součinitel plnosti diagramu (0,3 až 0,6 pro středně tvrdou ocel [-])

$s_A$  – dráha při stříhání plechu (odpovídá  $s$ ) [mm]

### 2.1.2 Střížná vůle [9], [12], [13], [14]

Aby bylo možné zvolit vhodný tvářecí stroj, je nutné spočítat velikost střížné síly. Hodnota střížné síly se mění podle fáze, ve které se nachází, to znamená, že se mění v průběhu svého pracovního zdvihu. Je ovlivněna hodnotami střížné plochy, střížným odporem a součinitelem otupení (obr. 12). Tato síla může být ovlivněna správnou volbou konstrukce střížníku a střížnice. Střížná vůle je dvojnásobek mezery mezi střížníkem a střížnicí. Nevhodně zvolená střížná vůle ovlivňuje kvalitu požadovaného výstřížku, jeho přesnost a nepříznivě trvanlivost střížného nástroje. Velikost lze ovlivnit například vhodnou volbou materiálu stříhacího nástroje nebo materiálu stříhané součásti a jeho tloušťkou. Velká střížná vůle způsobí určité vtahování materiálu do střížné mezery. To způsobí vysoký nárůst střížné síly. Dochází i ke vzniku větších ostrin, než je tomu u menší střížné mezery a povrch stříhané hrany se stane méně kvalitním. Malá střížná vůle způsobuje, že střížná síla a její práce narůstá. Objevuje se jev „dvojnásobného“ stříhání, což se projeví horší kvalitou střížné hrany, ale zmenší se velikost otřepu v počáteční fázi stříhání. V případě technologie vysekávání je střížná vůle volena v závislosti na tloušťce polotovaru.



Obr. 12 Stříh s rozdílnou střížnou vůlí [9]



Vztah pro výpočet střižné vůle pro materiál o tloušťce  $s \leq 3$  mm:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c_s \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_s} \text{ [mm]} \quad (2.3)$$

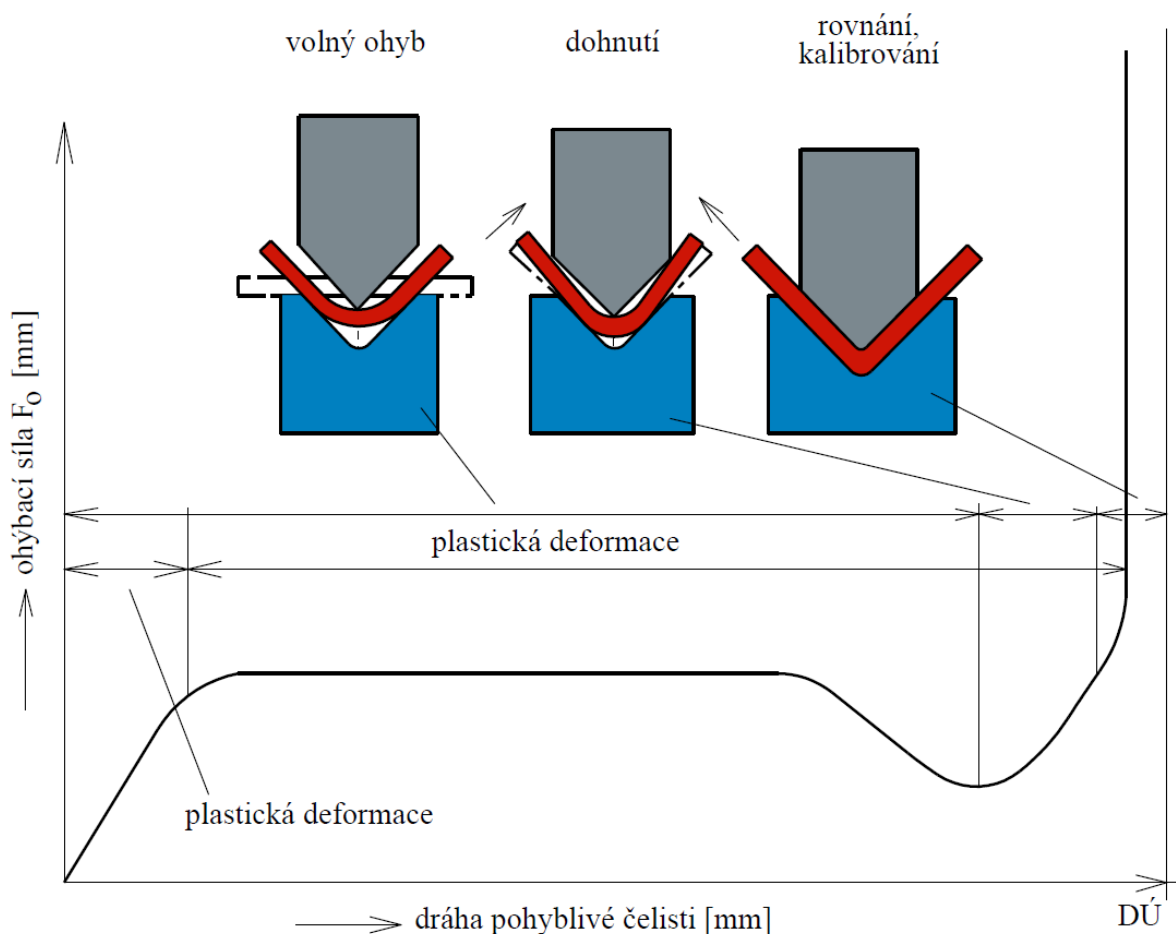
kde:  $v$  – střižná vůle [mm]

$z$  – střižná mezera [mm]

$c_s$  – součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,035) [-]

## 2.2 Technologie ohýbání [1], [2], [3], [9], [13], [22], [23], [25]

Jedná se o technologickou operaci, při které dochází k trvalé deformaci materiálu (obr. 13). Výsledný úhel ohnutí lze volit libovolně a je ovlivněn ohybovým momentem vycházejícím z ohybové síly. Tato skutečnost způsobuje, že materiál lze ohýbat i rovnat. Technologie se řadí do oblasti plošného tváření, protože dochází k trvalé změně tvaru, ale průřez zůstává téměř stejný. Operace probíhá většinou za studena. Pokud se jedná o materiál s vyšší pevností nebo větší tloušťkou, tváří se za tepla. Při ohýbání se dosahuje ohybovou silou za mez kluzu a nastává plastická deformace. Další deformace, která se objevuje vedle plastické, je elastická, se kterou je nutné počítat při samotné operaci. Způsobuje následné odpružení materiálu, které ovlivňuje výsledný tvar součásti. Tento technologický proces lze využívat u rozdílných tvarů polotovarů, z čehož plechy jsou využívány nejčastěji. Ohýbání se mimo jiné používá pro tváření, trubek, tyčí, profilů a dalších. Ohýbat lze v nástrojích, strojích, ohraňovacích lisech či pomocí tvarových válců. Základními operacemi jsou ohýbání, zakružování, lemování atd. Pokud se jedná o jednoduché ohýbání, ohýbá se buď do typického tvaru V nebo U.



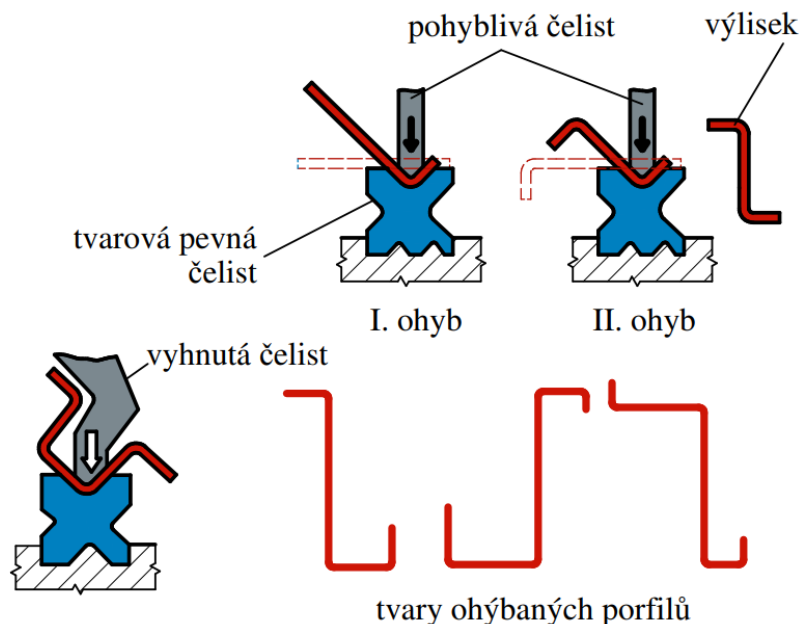
Obr. 13 Proces ohýbání [25]

### 2.2.1 Ohraňování [1], [2], [9], [25]

Technologie ohraňování je založená na stejném principu a platí pro ni stejná pravidla jako při ohýbání. Je to proces, kdy je plech ohýbán o minimální poloměr ohybu, nejběžněji o 1 mm. Ovšem u ohraňování se dají ohýbat velké díly ohýbané v nástroji skládajících se z ohybníku a matrice. Před samotným procesem je nutné stanovit rozvinutou délku polotovaru, posunutí neutrální osy, ohybovou sílu a minimální a maximální poloměr ohybu. Horní část nástroje je pohyblivá a dolní je pevná.

Horní část, ohybník, může mít

různé tvary, stejně jako dolní, ohybnice (obr. 14). Skládá-li se součást z vícero ohybů, je třeba stanovit jejich pořadí z důvodu zhotovitelnosti. Pomocí dorazů a postupným otáčením a posunům v nástroji je dle daného pořadí součást zhotovena.



Obr. 14 Princip ohraňování [25]

### 2.2.2 Poloměr ohybu [1], [2], [3], [9], [24]

Je třeba vypočítat hodnoty minimálního a maximálního poloměru ohybu. Tak bude zjištěna hodnota, při které dojde k porušení krajních vláken materiálu a následně k deformaci. Hlavními ovlivňujícími faktory jsou druh, plasticita a tloušťka tvářeného plechu.

Vztah pro výpočet minimální hodnoty poloměru ohybu:

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_p} - 1 \right) = c_p \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.4)$$

kde:  $R_{\min}$  – minimální poloměr ohybu [mm]

$\varepsilon_p$  – mezní prodloužení [-]

$c_p$  – součinitel minimálního poloměru ohybu [-]

– hodnoty pro vybrané materiály pro výrobu skříní:

měkká ocel:  $c = 0,5 \div 0,6$

hliník:  $c = 0,35$

Vztah pro výpočet maximální hodnoty poloměru ohybu:

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

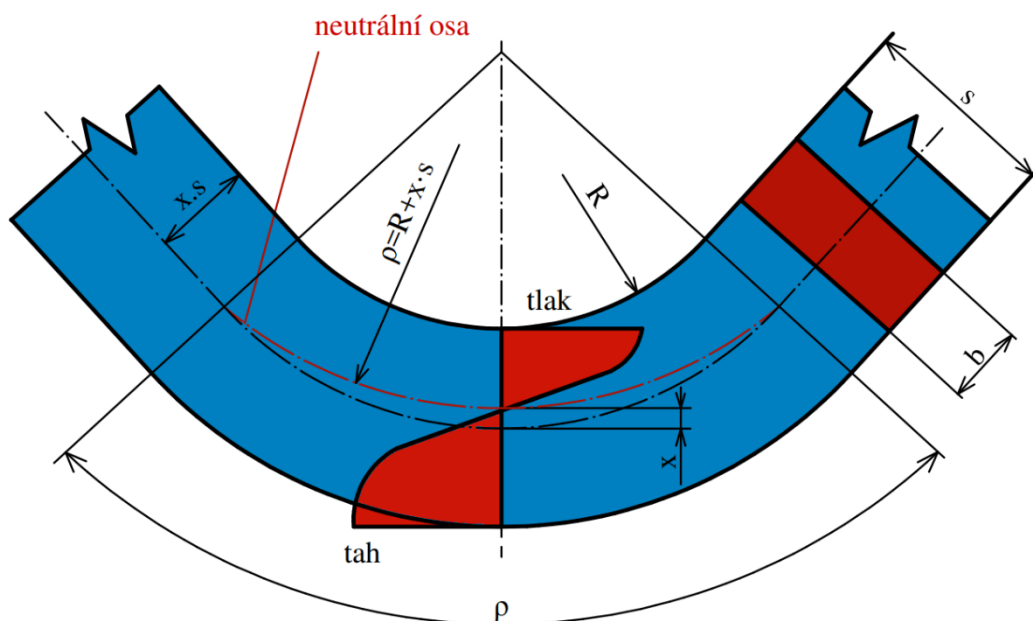
kde:  $R_{\max}$  – maximální poloměr ohybu [mm]

$E$  – modul průřezu [MPa]

$R_e$  – mez pevnosti v kluzu [MPa]

### 2.2.3 Neutrální osa a délka polotovaru [1], [2], [3], [9], [24], [25]

Neutrální osa je osa procházející materiálem v určité vzdálenosti od vnitřního povrchu (obr. 15). Posouvá se v závislosti na vlastnostech ohybu, jako jsou vnitřní poloměr ohybu a tloušťka materiálů. Na základě toho se stanoví neutrální osa, která je později potřebná pro výpočet rozvinuté délky polotovaru potřebné pro ohyb, platí pro úzké polotovary, nachází se v polovině tloušťky plechu. Z tabulky se určí koeficient  $x$  (tab. 2).



Obr. 15 Posunutí neutrální osy [25]

Vztah pro výpočet poloměru zaoblení neutrální vrstvy:

$$\rho = R_0 + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

kde:  $\rho$  – poloměr posunuté neutrální vrstvy [mm]

$R_0$  – poloměr zaoblení na vnitřní straně [mm]

$x$  – součinitel posunutí neutrální osy (tab. 2) [-]

Tab. 2 Hodnoty součinitele  $x$  závislé na poměru  $R$  a  $s$  [25].

R/s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0	4,0	>5,0
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

Vztah pro stanovení délky oblouku polotovaru:

$$l = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} \text{ [mm]} \quad (2.7)$$

kde:  $l$  – délka neutrální vrstvy [mm]

$\alpha$  – úhel ohybu [°]

Je nutné provést součet hodnot rovinných ploch a vypočítaných ohýbaných úseků. To se provede následujícím vztahem:

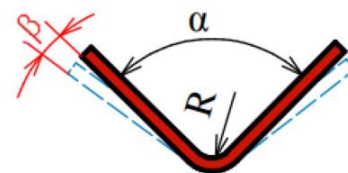
$$L_{Cx} = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_j \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

kde:  $\sum_{i=1}^n l_i$  – součet hodnot rovinných délek [mm]

$\sum_{j=1}^m l_j$  – součet hodnot ohnutých délek [mm]

## 2.2.4 Aspekty ovlivňující proces ohýbání [1], [9], [13], [24], [25]

- Odpružení – po ukončení působení tlaku na ohýbané těleso se materiál vrací částečně do původního tvaru a vzniká jev odpružení. Při technologii ohýbání je odpružení  $\beta$  velice významným jevem. Značí se jako úhlová odchylka  $\beta$  (obr. 16). Čím delší je rameno ohybu, tím větší je význam odchylky a vliv pružné deformace kolem neutrální osy. Záleží na vlastnostech materiálu, například tvárnosti, poloměru nebo způsobu ohýbání. Odchylka nabývá hodnot mezi 3 a 15°. U zvolené technologie ohraňování však není potřeba odpružení řešit, jelikož si systém stroje všechny potřebné hodnoty dopočítává sám dle zadaného programu pro výrobu. Existuje například tato možnost, jak odpružení eliminovat dohnutím o hodnotu odpružení  $\beta$ . Tuto hodnotu lze například určit vztahem pro „V“ ohyb:



$\alpha$  – úhel ohybu

$\beta$  – úhel odpružení

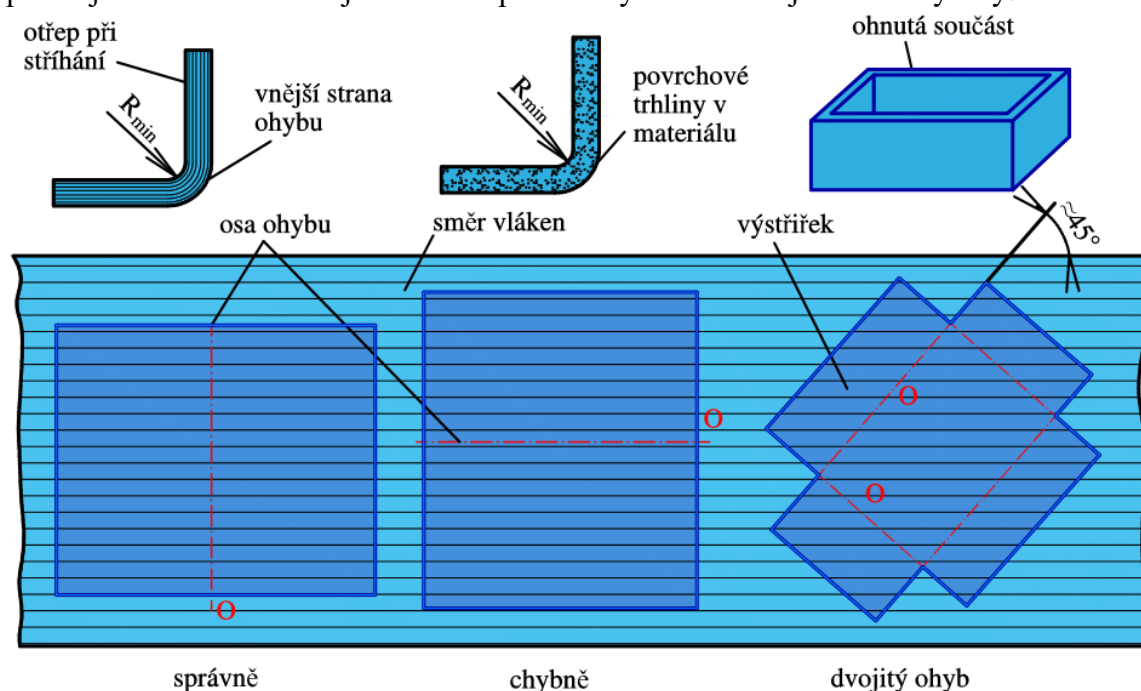
Obr. 16 Ohyb tvaru V [25]

$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_p}{(1 - x) \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad (2.9)$$

kde:  $\beta$  – úhel odpružení [°]

$l_p$  – vzdálenost podpěr ohybnice [mm]

- Praskání materiálu a tvoření vln – k tomuto jevu dochází ve chvíli, kdy nastane kritické překročení poměru velikosti poloměru ohybu a tloušťky  $R/s$ . Může to být způsobeno několika faktory. Jedná se o zpevnění materiálu, stav materiálu (žíhaný, tvářený za studena, za teplot atd.) nebo umístění směru vláken vůči poloze ohybu. Pokud je možno, volí se umístění vláken kolmo na osu ohybu (obr. 24a) nebo minimálně pod úhlem 30°. Kolmým umístěním dochází k většímu odpružení, které například lze eliminovat ohýbáním v matici. Když se zvolí způsob ohýbání rovnoběžně s vlákny, mohou se objevit povrchové trhliny, viz obr. 24b. V případě dvojitého ohybu, kdy navíc není možné umístit osu ohybu kolmo na směr vláken, umísťuje se v úhlu 45° (obr. 24c). Při volbě umístění musí být též bráno v potaz, že nástroje ve vysekávacím lise mohou zabírat víc místa a nemohou vysekávat pod úhlem. Z tohoto vyplývá, že je upřednostněna volba umístění taková, která bude zabírat pouze jednu hlavici nástrojů a nebude potřeba výměna nástrojů během výroby.



Obr. 17 Vliv vláken na ohýbání [24]

### 2.2.5 Ohybová síla a práce [2], [3], [9]

Síla během tváření není v celém procesu stejná. Průběh ohybové síly se vyjadřuje v závislosti na dráze nástroje. Rozdělen je na tři části. V první fázi je vysoký nárůst síly; dokud není dosaženo meze kluzu jedná se o oblast pružné deformace. Ve chvíli, kdy je mez kluzu překročena, nastává druhá část, což je plastická deformace. Tato oblast je specifická pouze mírným nárůstem síly. Ve třetí části přichází fáze kalibrování prudký nárůst síly. Ta slouží pro dosažení přesnějšího poloměru a úhlu ohýbaného dílu, viz obr. 13.

Vztah pro výpočet velikosti ohybové síly dle ČSN 22 7340:

$$F_{OV} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot \rho} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \text{ [N]} \quad (2.10)$$

kde:  $b$  – šířka ohýbaného materiálu [mm]

$$A_{OV} = F_{OV} \cdot m_V \cdot h_0 \text{ [J]} \quad (2.11)$$

kde:  $A_{OV}$  – vykonaná práce [J]

$m_V$  – koeficient zaplnění pracovní plochy diagramu pro „V“ ohyb (=1/3) [-]

$h_0$  – dráha ohybníku [mm]

### 2.3 Stroje [9], [12], [15], [16], [22], [27]

Vysekávací lis (obr. 18) je složen z pracovní plochy, na které je pomocí upínek upnut plech, který je jimi posouván po pracovní ploše a části, ve které jsou upnuty nástroje. Nástrojovou část tvoří hlava, ve které může být upnuto velké množství nástrojů a pouhým otočením hlavičky se nastaví potřebný nástroj pro děrování nebo vysekávání. Při volbě strojů rozhoduje velikost lisovací síly a případně to, kolik nástrojů dokáže hlavička pojmout, aby bylo možné vyrobit díl na jednu sadu nástrojů. Stroj je ovládán pomocí dotykové obrazovky. Do stroje je nahrán program s nástřihovým plánem vytvořeným v programu v počítači.



Obr. 18 Ukázka vysekávacího lisu [28]

Ohraňovací lisy (obr 19) jsou tvořeny z rámu, s pevnou spodní a pohyblivou horní částí, pohonu stroje, pracovního stůl a jako ovládací prvek slouží dotyková obrazovka, na které lze nastavit všechny potřebné hodnoty a načíst program ze systému. K ohýbání slouží matrice a ohybníky, díky kterým lze vyrobit potřebný ohyb. Pohonná jednotka je hydraulická nebo elektrická a má přesnost 0,01 mm. Hydraulický pohon je vhodný spíše pro silnější plechy díky použití tlakového vedení hydraulických válců. Elektrické vedení je zajištěno kladkami a servomotory s kontrolou servosnímačů a tento přesný systém je vhodnější pro tenké plechy. Tvářecí pohyblivá část je vedena v kluzném vedení a v dolní části je upnut ohybník. Do pracovní plochy se upínají matrice. Stroj je ovládán přes dotykovou obrazovku s klávesnicí, kde lze provádět veškeré nastavení jako korekce, provést simulaci procesu ohybu nebo případně vytvořit či upravit samotný program. Dorazy slouží pro ustavení polotovaru na přesnou polohu a jsou buď řízené počítačem dle potřeby ohybu nebo nastavitelné.



Obr. 19 Ukázka ohraňovacího lisu [29]

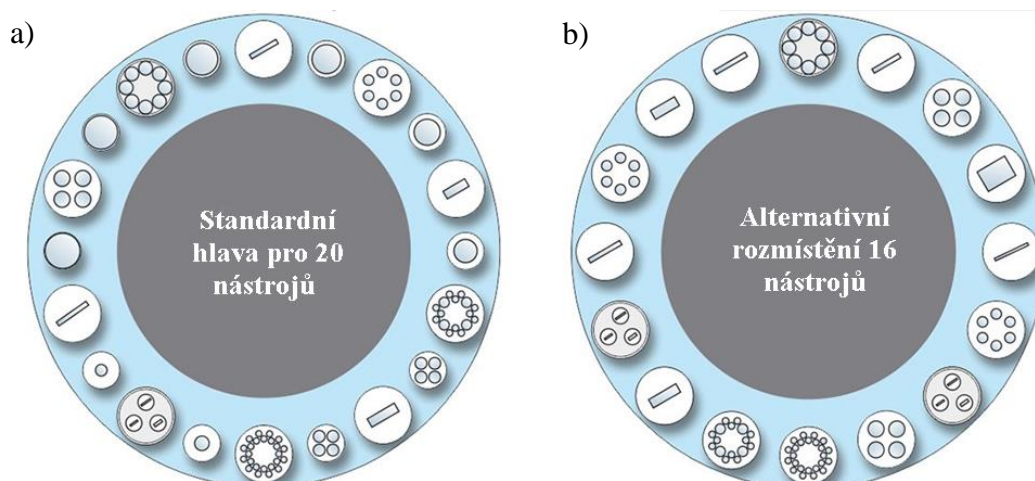


## 2.4 Nástroje [16], [30], [31], [32], [33], [33], [34], [35], [36]

Aby bylo možné součást vyrobit, je nutné zvolit vhodné nástroje pro obě navržené operace. U vysekávání jsou vybírány nástroje pro vysekávací lisy, kdy je potřeba zvolit ideální a minimální počet razníků. Ty existují nejčastěji ve variacích pro děrování, dělení nebo jako multitool. Pro ohraňování se volí ohybnice (matrice) a ohybník, také s velkou variabilitou volby nástrojů. U vysekávání i ohraňování existuje mnoho typů normalizovaných a snadno dostupných nástrojů. Ty jsou z důvodu rostoucích nákladů na výrobu upřednostňovány před nástroji na vyráběných na zakázku.

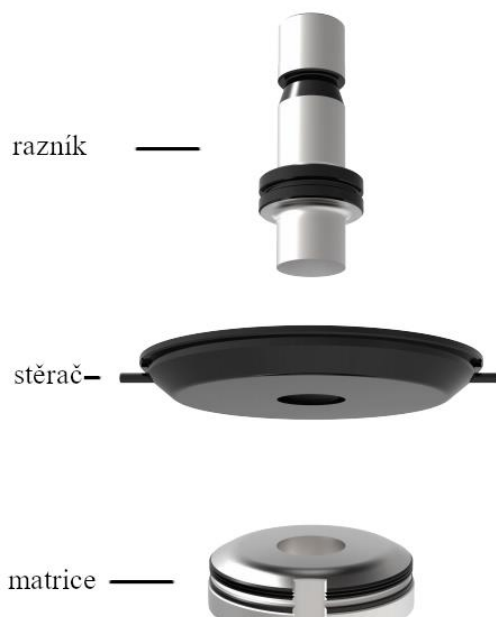
### 2.4.1 Vysekávací nástroje [12], [16], [30], [31], [32], [33], [33], [34], [35]

Jedná se o nástroje různých tvarů. Ty je potřeba vhodně zvolit na základě požadavků konečného výrobku. Nástroje jsou upnuty ve stroji do upínací hlavice. Například nástrojová hlavice od firmy Finn Power má dvě základní varianty upnutí. Buď se upínají v kombinaci malých a velkých nástrojů (obr. 20a) nebo pouze větší nástroje (obr. 20b). Pokud má být vysekávána část s úhlovým pootočením, umísťuje se do otočného držáku. Klasický držák nástroje není obvykle vybaven funkcí samostatného otáčení. Nejpoužívanější typy nástrojů jsou:



Obr. 20 Možné varianty rozmístění nástrojů [37]

- Děrovací (obr. 21) – používají se pro výrobu otvorů, například pro spojovací materiál (šrouby nebo nýtovací matice, nebo otvory k vývodům napájení, konektory atd). Vyrábějí se ve velké škále tvarů jako je kruh, čtverec, obdélník a další. Je ovšem možné vyrobit jakýkoliv tvar požadovaný zákazníkem. Pokud je otvor větší než největší velikost nástroje, který je k dispozici, vysekává se po vnitřním obvodu, dokud není získán požadovaný tvar. Vůle nástroje se volí podle tloušťky plechu, který je zpracováván. Nástroj se skládá z razníku, který je upnut v hlavici. Dále ze stěrače, který je určen k tomu, aby se vystřižený materiál nevtahoval nahoru při vysouvání razníku a z matrice pro vedení nástroje, stejně jako u běžného střižného nástroje. Materiály nástrojů jsou buď kalená ocel nebo ze slinutých karbidů.



Obr. 21 Ukázka děrovacího nástroje [31]

- Dělicí (obr. 22) – nejčastěji se používá průřez tvaru obdélníku. Slouží pro oddělení samotného tvaru od vnějšího polotovaru. Při návrhu nástřihového plánu a volbě můstků je potřeba brát v úvahu velikost nástroje, který zabírá na obrysu též místo. Funguje jako klasický střižník. Jelikož maximální velikost nástroje je omezena velikostí náboje v zásobníku, nedokáže vyrobít celou délku v jednu záběru a je nutné strany vyrábět na několik operací, které zanechávají otřepy. Před následující operací na jiném stroji, právě například před ohýbáním, je potřeba otřepy odstarnit. Nástroj se skládá z pěti dílů, a to držáku nože, do kterého je pomocí šroubů upnut dělicí nůž. Dále je v nástroji stěrač, který plní stejnou funkci jako v případě děrovacího nástroje, střižná lišta a držák střižné lišty (také označována jako matrice). Jinak nástroj funguje jako klasický střižník. Materiály nástrojů jsou buď kalená ocel nebo jsou zhotoveny ze slinutých karbidů



Obr. 22 Ukázka dělicího nástroje [31]

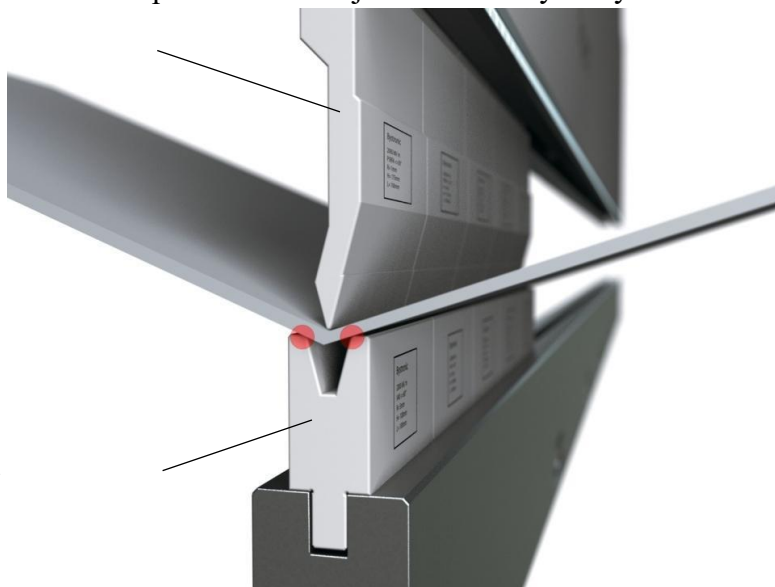
- Multitool (obr. 23) – jedná se o držáky nástrojů, do kterých lze umístit větší množství nástrojů menších. Jsou to buď zástavbové, to znamená, že jsou součástí nástroje už z výroby nebo vkládané, kdy si uživatel určí potřebné nástroje. Jedná se o rotační stanici. Dále podle typu multitool nástroje jsou samostatné nástroje buď rotační nebo pevné. Běžně se počet nástrojů ve stanici pohybuje od 5-ti do 8mi nástrojů, ale může být i víc. Lze též kombinovat nástroje s kruhovým, čtvercovým či jakýmkoliv libovolným průřezem. Výhoda tohoto nástroje je, že zabírá pouze jednu pozici v zásobníku místo několika a odpadá problém s nedostatkem pozic v zásobníku. Výběr na konkrétní nástroj probíhá otočením multitool stanice.



Obr. 23 Ukázka nástroje multitool [38]

#### 2.4.2 Ohraňovací nástroje [12], [15], [16], [36], [39]

Ohraňovací nástroj je tvořen dvěma hlavními částmi (viz obr. 24). Část, která je pevná, je nazývána matrice. Ta je uložena v liště ve spodní části stroje. Pro delší výrobky lze vkládat vícero matic za sebou. Horní, pohyblivá, část nástroje se nazývá razník. Razník se vkládá do lišty pohyblivého rámu a je nazývána razník. Hlavní pohyb je svislý pohyb razníku a vtlačování materiálu do protilehlé matrice, čímž vzniká požadovaný ohyb. Výsledný tvar ohybu a vnitřní uhel závisí na geometrii nástrojů. Při volbě nástroje je důležité zohlednit požadovaný vnitřní poloměr, výsledný tvar ohybu a velikost úhlu, který ovlivní volbu razníku a pro matrici šířku ohýbané součásti, velikost výsledného úhlu a poloměr. Je nutné, aby



Obr. 24 Ohraňovací nástroj [36]

nedošlo ke kolizi nástroje a materiálu. To znamená správnou volbu velikosti razníku a matrice. Pokud je na výrobku více ohybů, je nutné počítat s možností kolize nástroje a výrobku při tvorbě ohybu. Samotné dovolené hodnoty lze vyčíst z materiálů dodávaných s nástroji.

- Matrice (obr. 25) – důležitým aspektem při výběru vlastní geometrie matrice je její úhel, vnitřní rádius a rádiusy na tělu matrice. Nejběžnější je tvar V a nejčastějšími vnitřními úhly jsou 30 a 84°, vyráběno je ovšem mnohem více tvarů. Nástroj je složen z upínací části, která slouží pro výměnu nástroje a pracovní části obsahující dutinu s výše uvedeným úhlem. Podle typu matrice se na ni upínají pomocí šroubů další části, které slouží pro jiné druhy ohybů jako například lemy. Materiály nástrojů jsou pro nástroje od firmy Trumpf použity 42CrMo4 (ČSN 15 142),

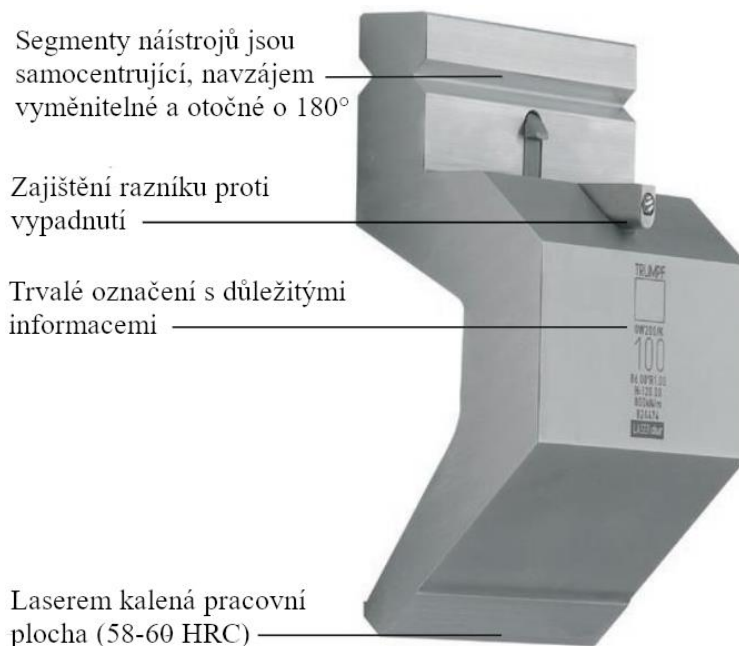


Obr. 25 Ukázka matrice [39]

kteřá po povrchovém zakalení dosahuje tvrdosti až 58 HRC. Nástroj se kalí povrchově, aby si zachoval houževnaté jádro. Upínání probíhá do lišt na spodní části stroje. Na boční straně je vždy onačení dané matrice se všemi důležitými informacemi.



- Ohybníky (obr. 26) – též používáno označení razník. Je tvořen upínací částí, samotným tělem a pracovní částí. Existuje mnoho druhů razníků, které jsou voleny podle tvaru nástroje (rovné nebo lomené), aby nedocházelo ke kolizi materiálu a nástroje v nežádoucích místech a potřebnému vnitřnímu rádiu výrobku. Tvořen je upínací částí jako u matrice, která se zasouvá do lišty ve stroji, tělem, které je opatřeno bezpečnostní pojistkou a pracovní částí, na které je zaoblení. Materiál, rovněž jako u matrice, je od firmy Trumpf použit 42CrMo4 (ČSN 15 142) kalen na tvrdost 58 HRC a též kalen pouze na povrchu pro udržení houževnatého jádra.



Obr. 26 Ukázka ohybníku [16]

## 2.5 Technologičnost vysekávání a ohraňování [1], [2], [3], [9], [40]

Jedná se o požadavky závislé na mechanických a fyzikálních vlastnostech materiálu a jeho tvárivosti. Jak u dělení, tak u ohýbání dílu, je vhodné dodržet zásady, které ovlivňují výsledný tvar výrobku. Pro dělení materiálu jsou to tyto:

- tvar výstřižku – volit tak, aby ho bylo možné co nejjednodušeji vyrobit, to znamená, že vnější obrysy by neměly být zaoblené, ale spíše zkosené,
- průměry otvorů – musí být dvakrát větší než tloušťka materiálu, jinak hrozí zničení razníku, jak udává výrobce,
- mezery mezi otvory – velikost volit minimálně jako tloušťku plechu,
- drsnost – u sekání se nepředepisuje, jelikož ji nelze ovlivnit (tu lze například u laseru),
- tolerance – pro kolmost a rovinnost, pokud možno nepředepisovat.

Pro ohýbání plechů jsou to tyto:

- poloměr ohybu – volit menší z důvodu odpružení,
- osa ohybu – volit kolmo na vlákna, jedná-li se o ohyb na více stran, volit alespoň pod úhlem 30°, jinak je potřeba obsluhou hlídat ohyb,
- tolerance – pokud je možno, nepředepisovat příliš malé,
- délka ramene – zjistit minimální hodnotu, aby bylo možné technologicky provést ohyb, dle vztahu (obr. 27):

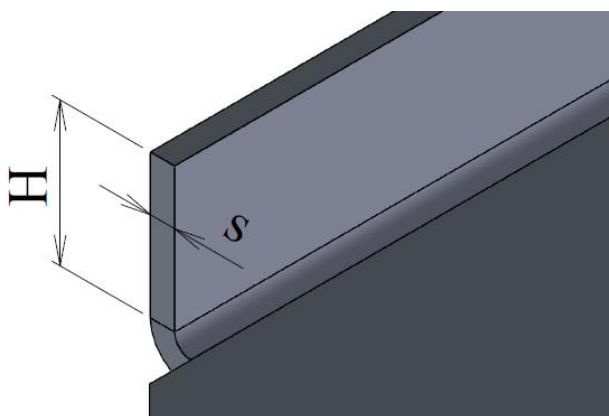
$$H > 2 \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.12)$$

$H$  – minimální výška ramene [mm]

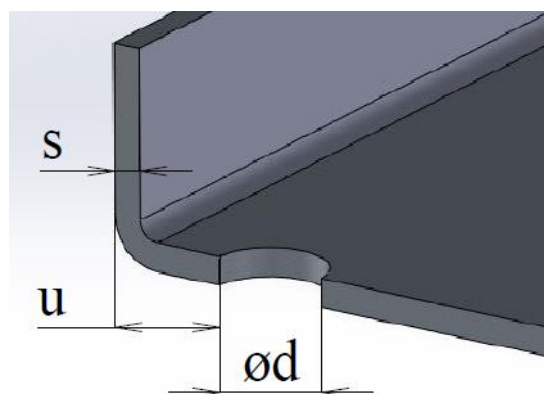
- vzdálenost otvorů od okrajů – nutno splnit podmínku, aby nevznikla deformace materiálu, dle vztahu (obr. 28):

$$u > 2 \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.13)$$

$u$  – minimální vzdálenost otvoru od ramene [mm]



Obr. 27 Minimální velikost ramena



Obr. 28 Minimální vzdálenost otvoru

Na základě těchto znalostí a podmínek je nyní potřeba navrhnout výrobu součásti. V návrhu výroby musí být zohledněny veškeré parametry, musí být vypočítán správný rozvin součásti a k tomu zvolen vhodný nástřihový plán. Vzhledem k tomu je nutné vybrat vhodný dostupný stroj jak pro vysekávání, tak pro ohraňování. Poté by měla následovat volba nástrojů kompatibilních se stroji a takovými, aby řešená součást mohla být vyrobená dle výkresových požadavků. Nakonec je potřeba zvolit vhodnou metodu svařování pro konečnou konstrukci skříně tak, aby byla funkční a splnila zadané podmínky.

### 3 NÁVRH VÝROBY

Součást, která bude vyráběna (obr. 29), je skříň pro elektronické součásti, které budou chlazeny přídatnými větráky. Vyráběna je z polotovaru plechu korozivzdorné oceli ČSN 41 7240 s tloušťkou 1,5 mm. Základní vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce 1 v kapitole 1.

Mezi její vlastnosti patří dobrá tvárnost při ohýbání, která je potřeba při druhé operaci a dobrá svařitelnost potřebná k dokončení výroby. Volba postupu je závislá na vybavenosti strojového parku firmy. Upřednostňuje se volba normalizovaných a dostupných nástrojů, které jsou k dispozici. Stříhací operace se provádí na vysekávacím lise a ohýbací na ohraňovacím lise. Umístění polotovaru na plechu by mělo být ovlivněno podmínkou z kapitoly 2.2.3 o umístění v závislosti na směru vláken, kdy z důvodu ohybů v obou směrech, je vhodné, pokud je možno, volit šikmé umístění pod úhlem  $45^\circ$ , aby nedocházelo k porušení materiálu. Z hlediska technologičnosti bylo zváženo umístění otvorů od hran ohybů navzájem, kdy se zohlednily velikosti můstků a pro ohyb, kde bylo potřeba zjistit minimální délku ramene, která může být ohnuta. Tyto kontroly lze provést vztahy z kapitoly 2.5.

Výpočet minimální vzdálenosti otvorů od ramene:

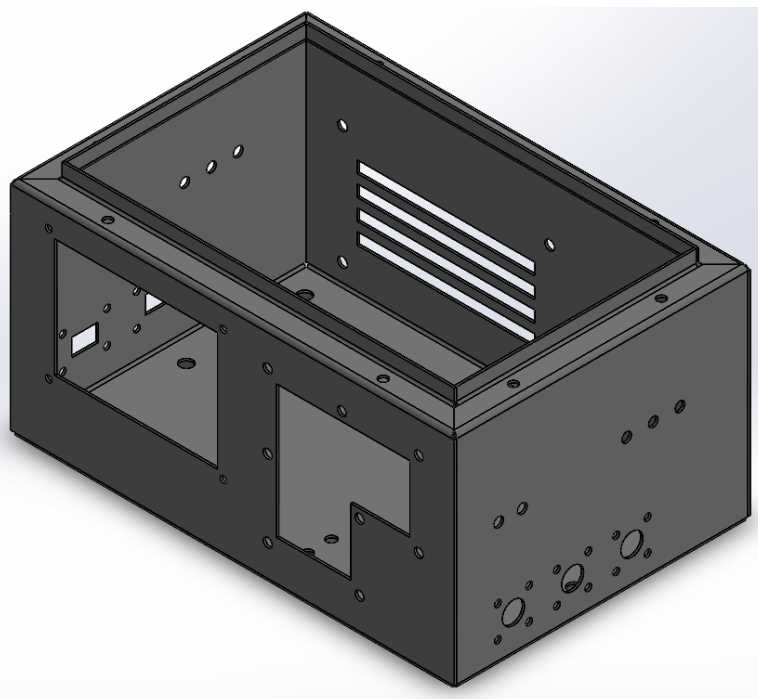
$$u > 2 \cdot s = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ mm}$$

Nejmenší vzdálenost kraje otvoru od ramene je 6,3 mm (obr. 30), tudíž splňuje technologické požadavky.

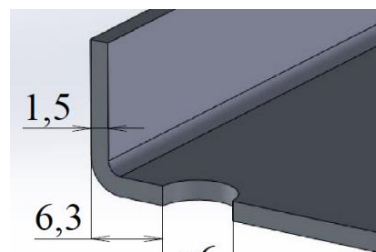
Výpočet minimální potřebné délky ramene:

$$H > 2 \cdot s = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ mm}$$

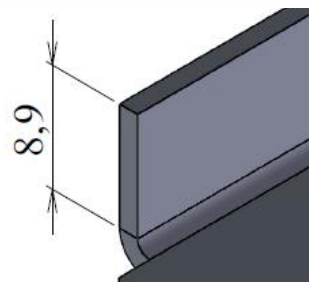
Nejkratší rameno má 8,9 mm (obr. 31). Z tohoto vyplývá, že součást je vyrobitelná a splňuje všechny požadavky.



Obr. 29 Model skříně na elektronické součásti



Obr. 30 Vzdálenost otvoru



Obr. 31 Velikost ramene

#### 3.1 Výpočty pro stříh

Vzhledem ke zvolené technologii, je vždy používán pouze jeden střížník, což znamená, že sílu stačí vypočítat pro jeden největší a z ní bude odvozeno jaký je potřebný stroj. Otvory jsou typu čtvercového, kruhového a obdélníkového a obrys se většinou stříhá střížníkem s obdélníkovým průřezem. Nejprve je potřeba zvolit největší otvory, pro které bude počítáno. Kruhový otvor byl vybrán o průměru 20 mm, čtvercový o velikosti 20x20 a pro obdélníkový nástroj je předpokládán největší co firma má, což znamená 80x5 mm. Pro tyto nástroje se

vypočítají jednotlivé obvody a následně pro největší zmíněná střížná síla. To se provede pomocí vztahů z kapitoly 2.2.1. Mez pevnosti volena dle kapitoly 1, tab. 1  $R_m = 640 \text{ MPa}$ .

Největší kruhový obvod:

$$l_{oa} = \pi \cdot d = \pi \cdot 20 = 62,8 \text{ mm}$$

Největší čtvercový obvod:

$$l_{ob} = 4 \cdot a = 4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

Největší obdélníkový obvod:

$$l_{oc} = 2 \cdot a + 2 \cdot b = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 5 = 170 \text{ mm}$$

Výpočet maximální síly vysekávání:

$$F_S = \tau_s \cdot S \cdot \eta = 0,8 \cdot R_m \cdot l_{oc} \cdot s \cdot \eta = 0,8 \cdot 640 \cdot 170 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 156672 \text{ N}$$

Střížná síla vyšla 156672 N, což odpovídá přibližně 157 kN a to je 15,7 t. Volený vysekávací lis bude potřebovat lisovací sílu přinejmenším 16 t.

## 3.2 Výpočty pro ohyb

Ve výpočtech pro ohyb je nutné zvolit vhodně ideální a přesný polotovar. Aby bylo možné tento polotovar zvolit, je nutné určit minimální a maximální poloměr ohybu, při kterém materiál bude porušen pouze plasticky. Z toho také vyplývá, že je nutné zvolit správnou neutrální osu s posunutím. Při tvorbě ohybu se vždy vytváří pouze jeden z ohybů. To znamená, že maximální potřebnou sílu stačí vypočítat pouze pro nejdelší ohybovou linku. Při provedení analýzy pro tuto hodnotu lze říct, že je tato síla naprosto určující a z toho jasné, že pro kratší ohyby v ostatních krocích zvolený stroj bude vyhovovat.

### 3.2.1 Výpočet poloměru ohybu

Aby bylo možné navrhnout technologii výroby, je nutné nejdříve spočítat rozvin, který udá velikost polotovaru, a k němu je potřeba zjistit hodnotu maximálního a minimálního poloměru. Použity budou vzorce z kapitoly 2.2.2.

Výpočet minimálního poloměru:

$$R_{\min} = c_p \cdot s = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ mm}$$

Hodnotu  $c_p$  je volena dle kap. 2.2.2 Rov. 2.4  $c_p = 0,6$

Z výpočtu lze vidět, že minimální poloměr ohybu musí být alespoň 0,9 mm a zvolený vnitřní rádius je 1 mm, tím pádem je podmínka splněna.

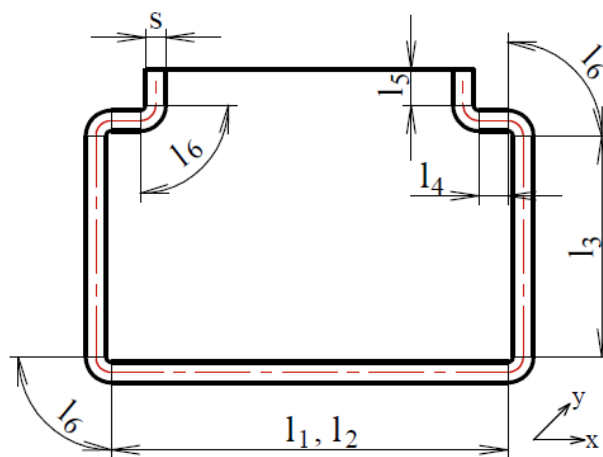
Výpočet maximálního poloměru:

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left( \frac{2,15 \cdot 10^5}{210} - 1 \right) = 297,87 \text{ mm}$$

Hodnota maximálního ohybu je 297,87 mm, z čehož plyne, že volba ohybníku proběhne bez problémů.

### 3.2.2 Výpočet délky polotovaru

Rozvinutý tvar se vypočítá sečtením rovných úseků součástí a zkrácených délek oblouků v ohybu dle kap. 2.2.3. Vzhledem k tomu, že všechny ohnutí jsou s vnitřním rádiusem 1 mm a všechny pod úhlem 90°, lze vypočítat pouze jednou. Nyní je nutné pomocí výpočtů zjistit hodnotu délek rozvinutého tvaru. Jelikož má tvořen ohyb na 2 strany, je nutné toto při výpočtu zohlednit a spočítat obě hodnoty. Nejprve je potřeba vypočítat hodnotu poloměru rádiusu ku tloušťce materiálu a v závislosti na této hodnotě zjistit posunutí neutrální osy v závislosti na tloušťce materiálu. Hodnotu „x“ lze vyčíst z tab. 3. Následně provést výpočet délky oblouku, které jsou v tomto případě všechny stejné a poté délky úseků v obou směrech. Směry jsou označeny podle os jako x a y, jak lze vidět na obr. č. 32. po vypočtení těchto hodnot lze sestavit velikost polotovaru pro stříh.



Obr. 32 Označení souřadnicového systému

Výpočet hodnoty x:

$$\frac{R}{s} = \frac{1}{1,5} \cong 0,67$$

kde: R – vnitřní poloměr ohybu

V tabulce 2 nelze zjistit hodnotu x pro 0,67, tudíž je nutné zjistit pro 0,6 a 0,7. Jsou to 0,38 a 0,39 a z nich lze vypočítat pro 0,67 pomocí vztahu:

$$\frac{0,39 - 0,38}{0,7 - 0,6} = \frac{0,39 - x_{0,67}}{0,7 - 0,67} \Rightarrow x_{0,67} = 0,39 - \frac{(0,7 - 0,67) \cdot (0,39 - 0,38)}{0,7 - 0,6} \quad (3.1)$$

$$x_{0,67} = 0,387$$

kde:  $x_{0,67}$  – hodnota x pro vypočtený poměr [-]

Výpočet poloměru posunutí neutrální osy pro ohyb s rádiusem 1 mm:

$$\rho = R_0 + x \cdot s = 1 + 0,387 \cdot 1,5 = 1,58 \text{ mm}$$

Hodnota velikosti poloměru posunuté osy bude 1,58 mm.

Výpočet délky oblouku v posunuté ose:

$$l_6 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 1,58 \cdot 90}{180} = 2,48 \text{ mm}$$

Délka oblouku v místě posunutí osy bude 2,48 mm.

Tab. 3 Hodnoty jednotlivých úseků polotovaru.

	$l_i$					$l_j$
Úsek	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_6$
Délka výseče [mm]	295	195	145	14	9	2,48

Výpočet rozvinuté délky pro x-ovém směru dle kap. 2.2.3:

$$L_{Cx} = \sum_{i=1}^n l_{ix} + \sum_{j=1}^n l_{jx} = 295 + 2 \cdot 145 + 2 \cdot 14 + 2 \cdot 9 + 6 \cdot 2,48 = 645,9 \text{ mm}$$

Výpočet rozvinuté délky pro y-ovém směru dle kap. 2.2.3:

$$L_{Cy} = \sum_{i=1}^n l_{iy} + \sum_{j=1}^n l_{jy} = 195 + 2 \cdot 145 + 2 \cdot 14 + 2 \cdot 9 + 6 \cdot 2,48 = 545,9 \text{ mm}$$

Z výpočtů vyplývá, že rozvinutá délka polotovaru bude v jednom směru 646 mm a ve druhém 546 mm.

### 3.2.3 Výpočet maximální síly ohybu

Aby bylo možné zvolit vhodný stroj, je nutné spočítat potřebnou sílu, kterou budou jednotlivé části součásti ohýbány. Zvolena bude nejdelší možná ohýbaná strana o 230 mm. Vztah pro výpočet ohybové síly:

$$F_{Ov} = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot \rho} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = \frac{(297 \cdot 1,5^2 \cdot 230)}{2 \cdot 1} \cdot \tan \left( \frac{90}{2} \right) = 124478 \text{ N} = 125 \text{ kN}$$

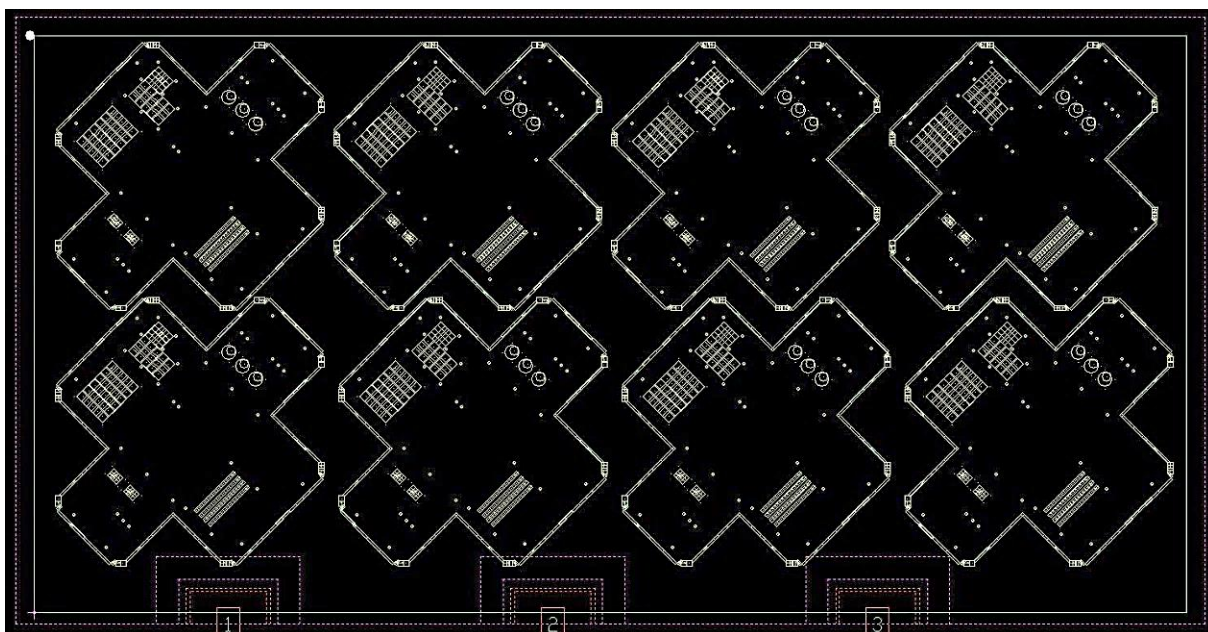
Největší ohybová síla vyšla 124478 N, což odpovídá přibližně 125 kN a to 12,5 t. Z toho vyplývá, že volený stroj bude muset být schopen vyvinout přinejmenším tuto hodnotu.

### 3.3 Nástřihový plán

Pro co největší využití plochy materiálu je potřeba vytvořit nástřihový plán. Ten slouží k určení co nejvýhodnější pozice na ploše vzhledem k technologičnosti procesu. Při návrhu vhodného rozmístění je dobré, pokud je to možné, uvažovat vhodnost umístění pod úhlem 45°. V úvahu připadají 2 možnosti nástřihového plánu, který je ovlivněn nástrojovou hlavicí, aby bylo možné vyrobit danou sérii bez nutnosti výměny nástrojů. Velikost plechu je zvolena 2500x1250 mm. Níže, na obr. 34 a obr. 35 lze vidět obě metody rozmístění. Prostor kolem dílu musí obsahovat velikost můstků a zároveň uvažovat konstrukci nástroje, která musí být připočtena k této hodnotě. Jelikož běžně používaný nástroj je v šíři 5 mm, bude připočtena hodnota 5 mm.

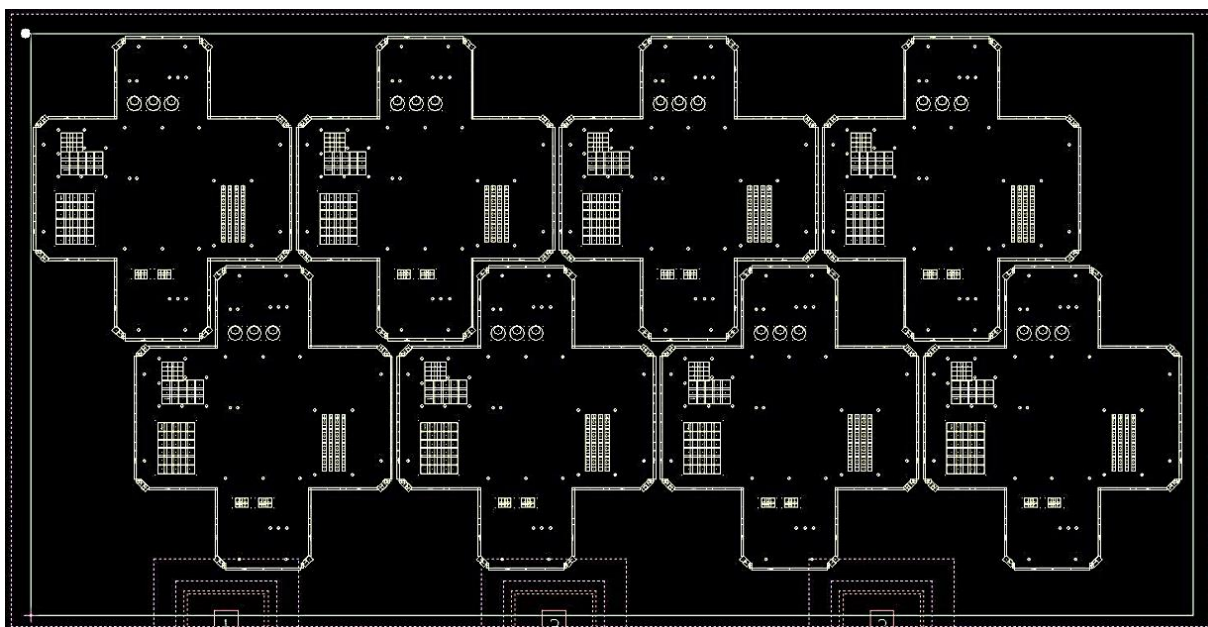
- Varianta A (obr. 34) – umístění je podle doporučení pro umístování výrobku s vícero ohyby. V dolní části se počítá s upínkami na plech, které snižují možnost využití materiálu o 80 mm. Výhoda této varianty je, že ohyb nebude probíhat ani v jednom případě pouze podélně nebo pouze příčně. Nevýhodou může být hrozba, že určité nástroje se v hlavici nemohou otáčet a tak, aby mohly být vyrobeny šikmé části. Nástroj by zabíral více pozic a tím by se nevešly všechny potřebné nástroje do zásobníku nástrojů.





Obr. 34 Nástřihový plán varianty A

- Varianta B (obr. 35) – varianta B počítá s umístěním výrobku „na svislo“ s tím, že v jednom případě půjde o ohyb příčný a ve druhém o podélný. U této varianty odpadá problém s polohováním nástroje. Nástroje se vejdou všechny do jedné hlavy. Nevýhodou je směr průběhu vláken při následném ohybu.



Obr. 35 Nástřihový plán varianty B

Z nástřihových variant lze vidět, že v případech A i B lze na plech umístit 8 výrobků, tudíž ve využití plochy materiálu není rozdíl. Volba varianty bude tedy záviset na volbě nástrojů, jak je již uvedeno výše, bude brán zřetel, aby bylo možné vysekat součást na jednu sadu nástrojů. Z těchto důvodů byla zvolena varianta B

### 3.4 Postup vysekávání a ohraňování

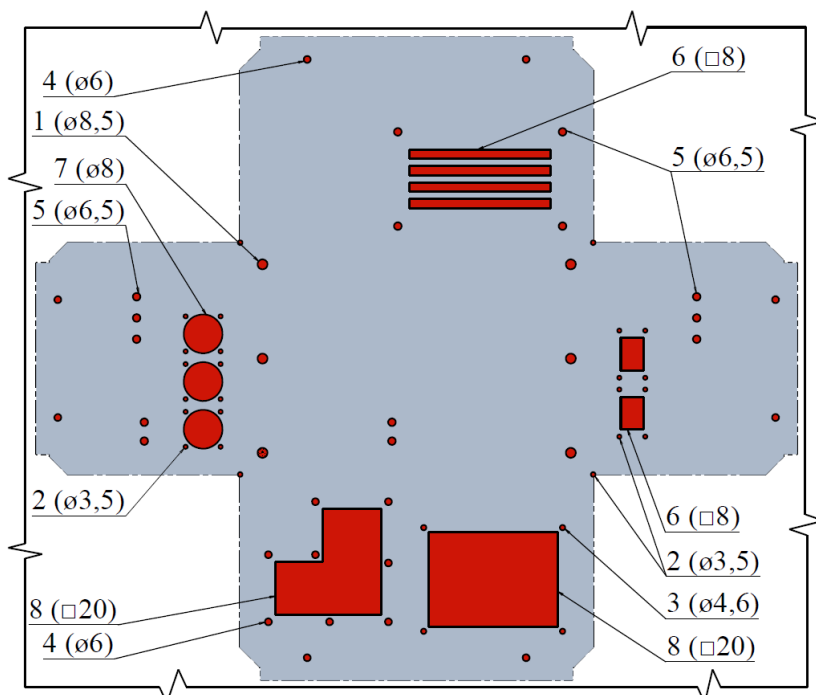
Pro první i druhou je nutné zohlednit lisovací sílu stroje a poté vhodně zvolenými nástroji zvolit pořadí stříhu a ohybů. Při nesprávné volbě pořadí ohybů se může stát, že součást nepůjde vyrobit a delší strany uzavřít. Pokud bude zvoleno vhodně, součást bude vyrobitelná.

#### 3.4.1 Postup vysekávání

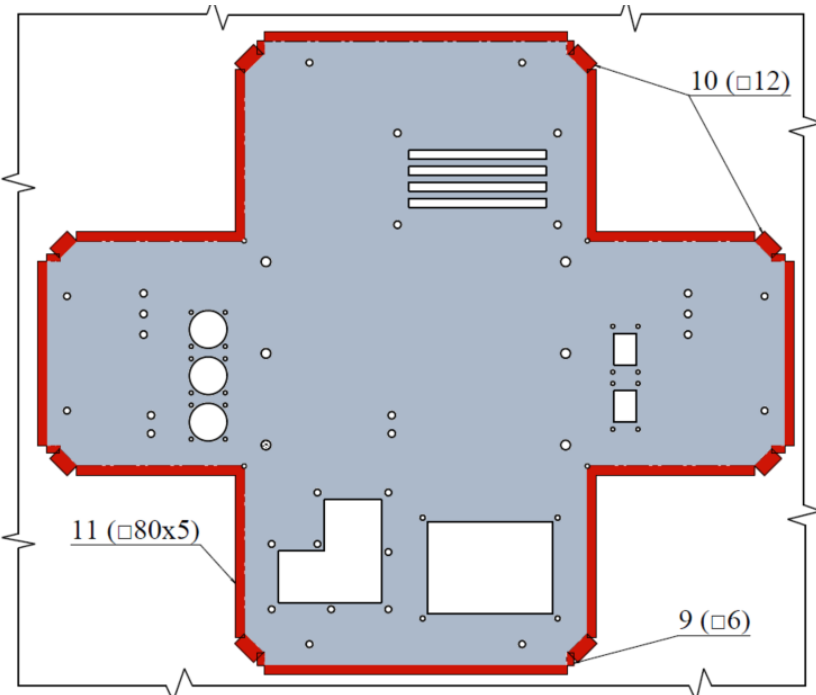
Vzhledem ke konstrukci prvku bude potřeba nejprve provést děrování všech potřebných otvorů a až následně vystříhnutí samotného polotovaru. V případě děrování (obr. 36) se nejprve budou vysekávat otvory, které se dají vyrobit na jeden zdvih a jedná se o kruhové otvory Ø8,5 mm, poté Ø3,5 mm, který slouží pro vytvoření rohu, aby bylo součást možné ohnout. Následovat bude Ø4,6 mm, Ø6 mm a Ø6,5 mm. Následně čtvercové a obdélníkové otvory s nástrojem se čtvercovým průřezem o velikosti 6 mm. Poté velký kruhový otvor (pozice 7), který se bude vysekávat po vnitřním obvodu. Poslední fází děrování budou velké plochy na pozici 8 nástrojem se čtvercovým průřezem o velikosti 20 mm.

Poté se bude vysekávat samotný obvod (obr. 37). Nejdříve nástrojem o velikosti 6×6 mm, který bude v otočném držáku, vyseká část obvodu. Rovněž v otočném držáku bude upnut nástroj o velikosti 12×12 mm a vyrobí se části, kam by se dlouhý střížník nedostal.

Nakonec vyseká obvod nástroj s obdélníkovým průřezem 80x5 mm, díky kterému už lze vyrobit celý obvod a následně obsluhou vytlačit výrobek z polotovaru.



Obr. 36 Střížný plán – děrování



Obr. 37 Střížný plán – dělení



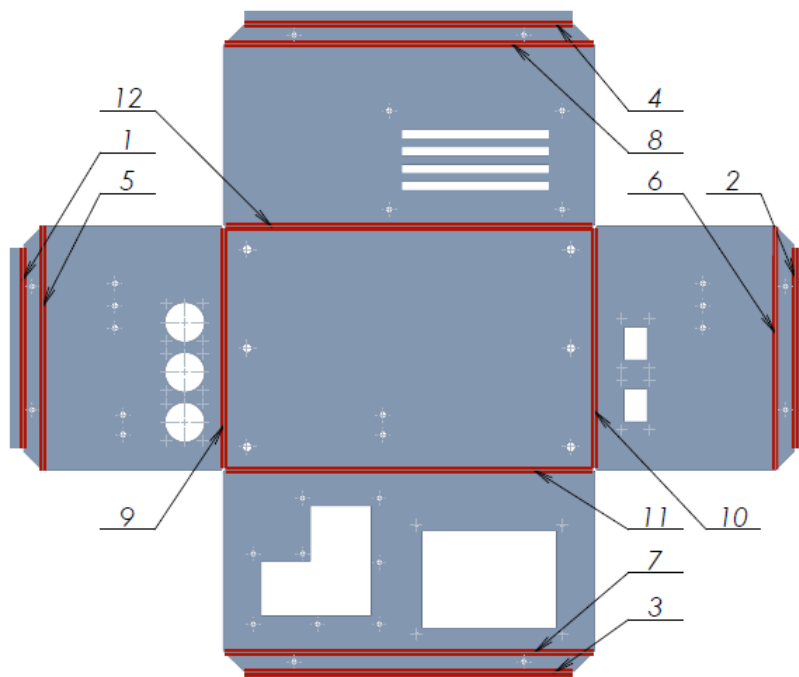
### 3.4.2 Postup ohraňování

Jelikož se jedná o ohýbání s větším počtem ohybů, a navíc ohybům na více stran, je třeba vhodně zvolit pořadí ohraňování, aby bylo technologicky možné provést všechny potřebné ohyby. Nutná je absence kolize materiálu a nástroje nebo nástroje a dorazu, případně strojem. Je také potřeba se vyhnout jakémukoliv porušení materiálu. Součást obsahuje celkem 12 ohybových operací. Veškeré operace jsou po  $90^\circ$ , s tím rozdílem, že operace 1-4 jsou ohnute na opačnou stranu od ostatních a jedná se tedy o negativní ohyb.

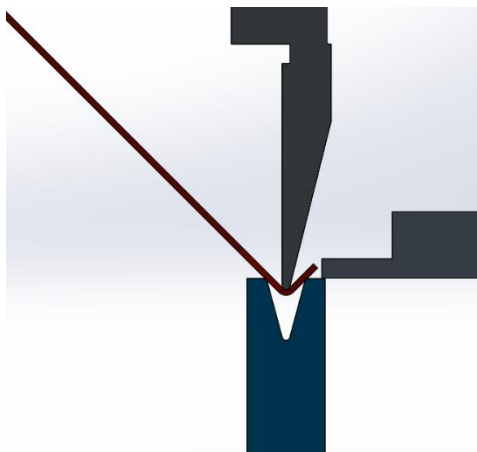
Ohybový plán a pořadí ohybů je znázorněno na obr. č. 38, kde lze vidět postup ohýbání. Nejdříve proběhne ohnutí krajních částí 1-4, čímž se vytvoří obruba. Následně se polotovar otočí a po úpravě dorazů se ohnout ohyby číslo 5-8

a tím se vytvoří plocha pro nýtovací matice na spojení s víkem. Poté se vytvoří ohyb 9-12, nejprve kratší strany 9 a 10 a následně zbylé 2 delší strany, čímž se součást uzavře. Na základě tohoto jsou voleny nástroje, a jelikož se jedná o normalizované, je vysoká pravděpodobnost, že firma, ve které se vyrábí, je vlastní. Z důvodu délky lišt je potřeba nejdříve ohýbat kratší strany, aby nebyl problém s uzavřením delších stran. Tato možnost je též technologicky jednodušší.

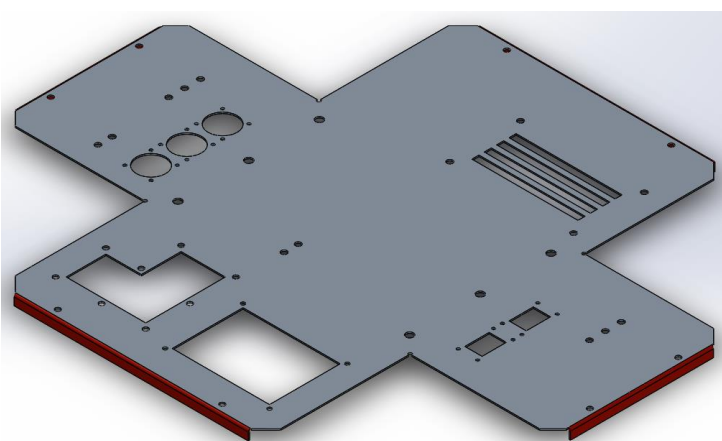
- I. fáze (obr. 39 a 40) – v první etapě se budou ohýbat krajní ohyby. Tyto ohyby jsou orientované opačným směrem. Postupovat se budou od kratších po delší, to znamená nejprve ohyb číslo 1 a 2, které budou mít i nastavené stejné dorazy. Vzhledem k tomu, že bylo zvoleno umístění s nulovým otočením, je nutné, aby obsluha provedla na stroji korekce a případně provedla úpravy při ohybu, aby splňoval konstrukční požadavky. Následně se ohnou ohyby číslo 3 a 4. Poté se polotovar otočí na další fázi.



Obr. 38 Ohybový plán součásti

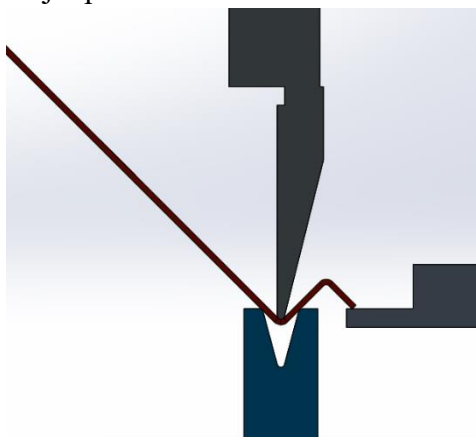


Obr. 39 Ohyb – I. fáze

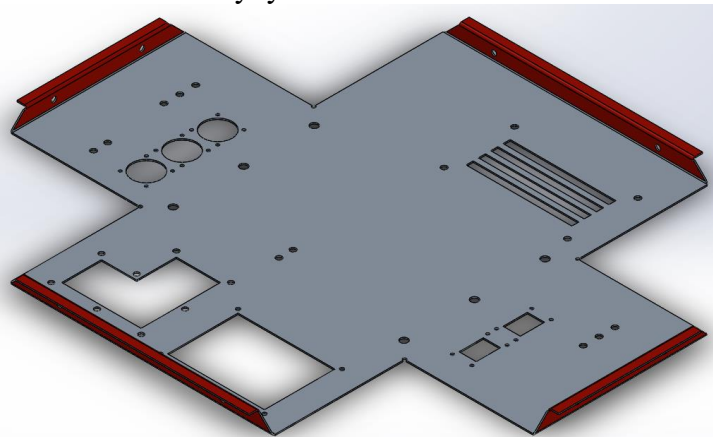


Obr. 40 Výsledný ohyb – I. fáze

- II. fáze (obr. 41 a 42) – ve druhé etapě proběhne ohnutí zvýrazněných částí na obr. 38. Rovněž jako u předchozí fáze nejprve proběhne ohnutí kratších ohybů, číslo 5 a 6, a následně 7 a 8, což znamená delších. Dorazy budou nastaveny pro kratší i delší ohyb stejně. Nejprve se díl dorazí a ustaví a poté doraz odjede. Také je nutné kontrolovat ohyb obsluhou stroje, aby byly případně provedeny korekce ohybu a rozměry byly dodrženy. Po této fázi nebude již potřeba součást otáčet a budou následovat další ohyby.

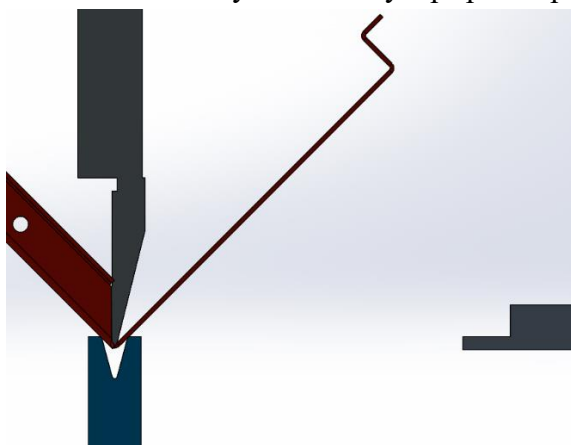


Obr. 41 Ohyb – II. fáze

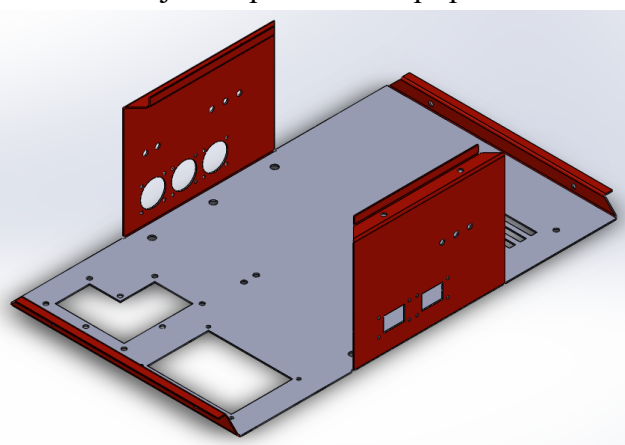


Obr. 42 Výsledný ohyb – II. fáze

- III. fáze (obr. 43 a 44) – ve třetí etapě proběhne ohnutí stěn, které jsou vidět na obr. 38. Jedná se o kratší stěna a je velice nutné dodržet pořadí, kvůli tomu, že delší stěna přesahuje na kratší a v případě prohození pořadí by již nebylo možné skříň uzavřít. Jedná se o ohyby číslo 9 a 10. Jelikož osa ohybu je rovnoběžná se směrem vláken válcování, je rovněž nutné kontrolovat ohyb a rozměry a případně provést korekce jako u předchozích případů.

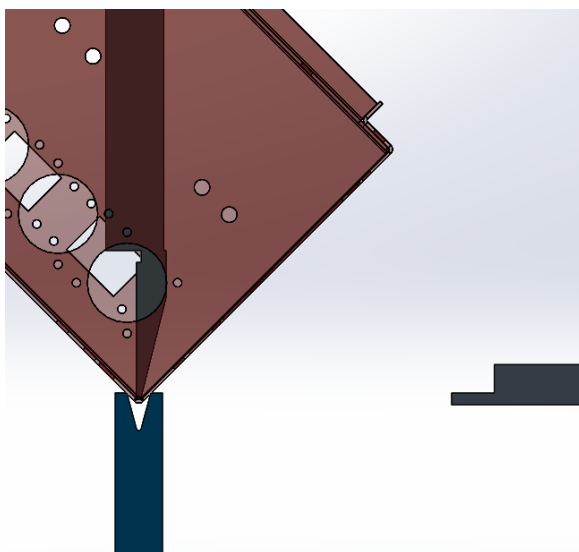


Obr. 43 Ohyb – III. fáze

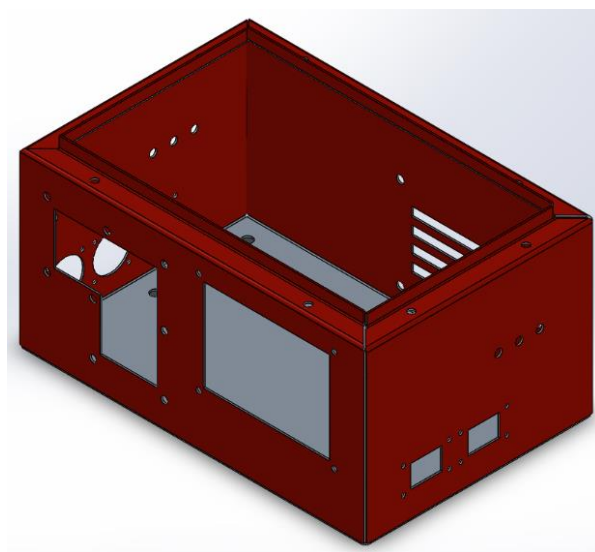


Obr. 44 Výsledný ohyb – III. fáze

- IV. fáze (obr. 45 a 46) – v poslední fázi je nutné provést ohyby, které uzavřou skříň. Jedná se o ohyby číslo 11 a 12 na obr. 38. Je nutné tyto ohyby provést jako poslední, protože byla zvolena konstrukce skříně taková, že delší strana uzavírá kratší a tím je vhodnější pro svařování. V tomto případě je osa ohybu kolmá na osu válcování a neměl by být problém s korekcemi při ohybu, což ovšem nevylučuje kontrolu. Poslední ohyby slouží také jako kontrola rozměrů, protože lze vidět, jestli části skříně do sebe zapadají a lze díky první výrobě provést korekce pro další díly, aby bylo možné se vyhnout nutnosti úprav každé skříně zvlášť, čímž se ušetří čas na výrobu.



Obr. 45 Ohyb – IV. fáze



Obr. 46 Výsledný ohyb – IV. fáze

### 3.5 Vysekávací stroj [12], [41], [42], [43]

Je nutné splnit podmínky, které byly stanoveny dle výpočtů. Lis musí splňovat minimální lisovací sílu 157 kN. Volen bude CNC vysekávací horizontální hydraulický lis FINN Power C5. Tvářecí síla tohoto stroje je 30 t (300 kN), která není nastavitelná, ale konstantní a která splňuje požadované podmínky. Velikost pracovní plochy je vyhovující pro tabuli plechu 2500x1500 mm a pro velikost síly největšího střížníku. Z hlediska tloušťky materiálu je vyhovující, jelikož je vhodný pro korozivzdorné oceli do tloušťky 2 mm a pro hliníkové plechy do 3 mm. Ve firmě, kde je součást vyráběna, se nacházejí dva tyto stroje. Vlastnosti stroje a jeho parametry jsou v tabulce 4.



Obr. 47 Vysekávací lis FINN POWER C5 [41]

Tab. 4 Vlastnosti stroje FINN POWER C5 [12], [41], [42], [43].

Horizontální hydraulický lis Finn Power C5	
Děrovací síla	30 t/300 kN
Řídicí systém	Siemens Sinumerik 840D
Velikost pracovní plochy	2530x1270 mm
Posuvová rychlost v ose x/y	90 m·min <sup>-1</sup> /60 m·min <sup>-1</sup>
Přesnost	± 0,1 mm
Maximální tloušťka materiálu pro mosaz a hliník	3 mm
Maximální tloušťka materiálu pro mosaz a hliník	2 mm
Maximální průměr razníku/počet nástrojů ve věži	89 mm/20ks
Počet úderů za minutu	1100
Rozměry stroje	5200x5200x2200 mm
Hmotnost stroje	10 500 kg

### 3.6 Ohraňovací stroj [12], [16], [44]

Základní podmínka je splnění požadované lisovací síly, která je 125 kN. Zvolený CNC ohraňovací lis TruBend 5170 od firmy Trumpf tuto podmínku splňuje. Další podmínka je pracovní šířka ohybu, kterou má stroj 3050 mm a nejdelší strana má 230 mm. Pro tloušťku materiálu a jakost materiálu je též vyhovující. Stroj má programovatelný systém s tím, že obsluha může provádět kalibrace, upravovat ohyby a dorazy přímo u stroje, tudíž je vhodný pro i pro tuto sérii. Také má nastavitelné dorazy, a to buď automaticky nebo poloautomaticky. Programovatelnost přímo u stroje je důležitá pro volbu nástřihového plánu, kdy byl zvolen s příčným a i s podélným ohybem a je možnost, že bude potřeba provést drobné úpravy přímo na pracovišti podle měření prvního kusu. Tyto úpravy lze provádět na pracovní konzoly u stroje. Základní parametry stroje lze vidět v tabulce 5.



Obr. 48 Ohraňovací lis TruBend 5170 [44]

Tab. 5 Vlastnosti stroje TruBend 5170 [12], [16].

Hydraulický ohraňovací lis TruBend 5170	
Lisovací síla	170 t/1700 kN
Ovládací plocha	Touchpoint TruBend
Délka ohybu	3230 mm
Rychlost pohybu	
maximální pracovní rychlost	25 mm.s-1
zvýšená rychlost	220 mm.s-1
Doraz	5-osý zadní
Rozměry stroje	3980x1900x3000 mm
Hmotnost stroje	12200 kg
Požadovaný výkon připojení	80 kVa
Průměrná spotřeba	30 kW

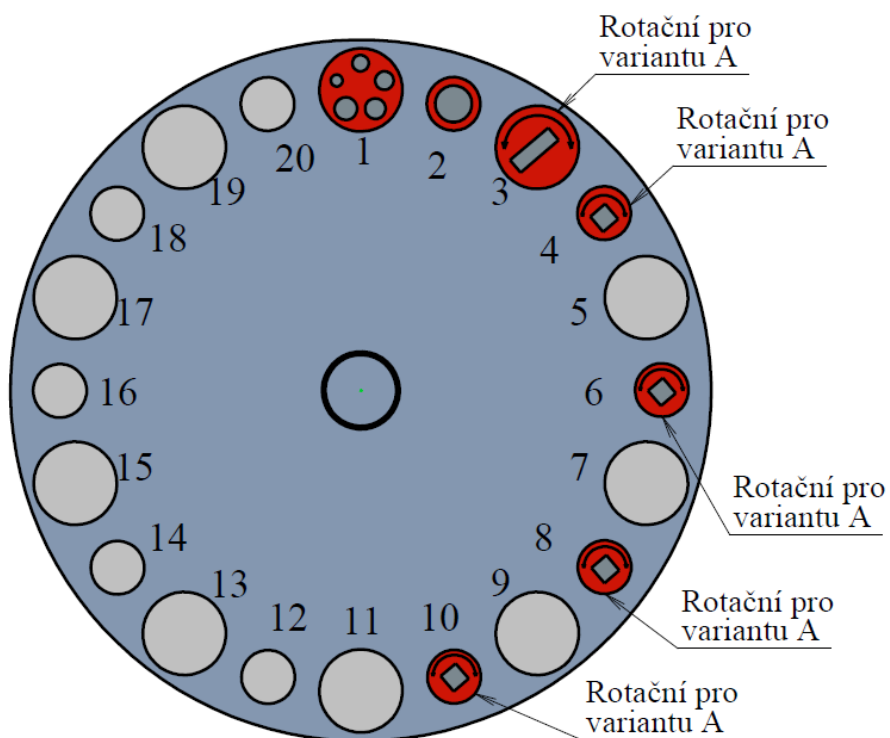
### 3.7 Volba nástrojů [16], [33], [34], [35]

Nyní je potřeba správně zvolit nástroje pro výrobu tvářené součástí. Při volbě je brána přednost normalizovaných nástrojů, aby nebyly zvýšeny náklady na výrobu. Jelikož stroj pro vysekávání by zvolen od firmy Nova, budou nástroje voleny kvůli kompatibilitě též z této firmy. Počet nástrojů a jejich umístění bude rozhodující pro vybrání varianty nástřihového plánu. Pro ohraňování jsou upřednostněny nástroje od firmy Trumpf. Vzhledem k rozdílně dlouhým ohybům je snaha o volbu co nejmenšího počtu nástrojů s tím, že na delší ohyby se budou pouze přidávat a využijí se použité pro kratší ohyby.



### 3.7.1 Volba nástrojů pro vysekávací lis [33], [34], [35]

Pro variantu A je nutné umístit všechny nástroje se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem do rotačních držáků (otočných). Toto je rozhodující faktor, na který musí být při volbě orientace výrobku na plechu zohledněn. Jelikož firma disponuje pouze pěti rotačními držáky v zásobníku, je tato varianta vyloučena, protože by bylo nutné výrobu přerušit, vyměnit nástroje a nahrát druhý program, což by bylo velice neekonomické a je lepší zvolit metodu s umístěním ve variantě B, i když bude nutné při ohýbání zohlednit



Obr. 49 Umístění nástrojů ve hlavici

kombinaci příčného a podélného ohybu. Seznam nástrojů a jejich umístění v nástrojové hlavici lze vidět v tab. 6. Při volbě pozice je nutné zohlednit, že nemůžou být umístěny 2 velké držáky vedle sebe. Vedle velkého držáku, jako je třeba Multitool s několika nástroji, nelze umístit například velký obdélníkový vysekávací nástroj. Lze například umístit držák s nástrojem o průměru 20 mm.

Tab. 6 Tabulka nástrojů pro dělení.

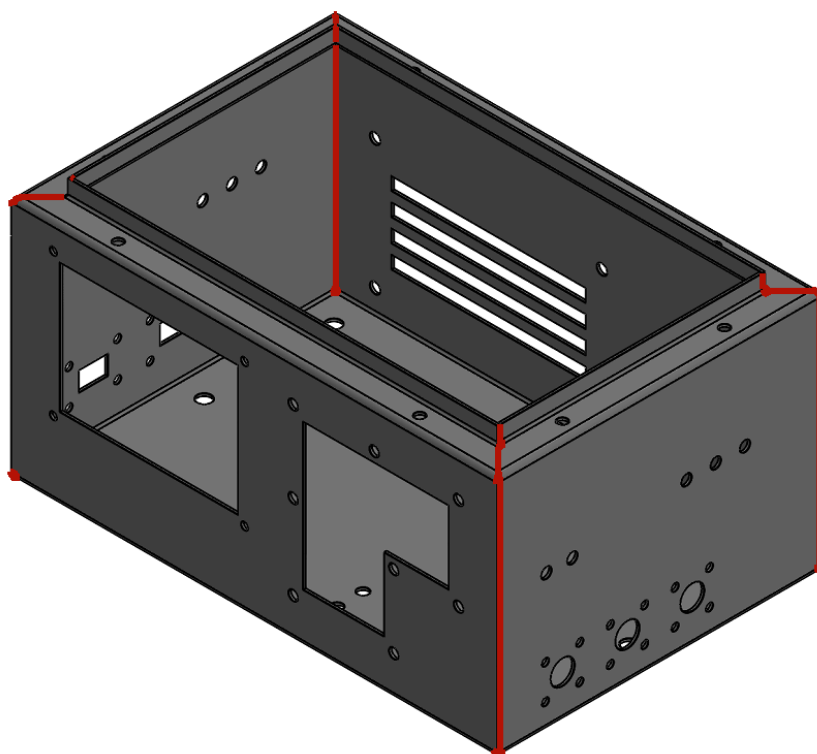
				Držák		Pozice v hlavici	
Druh nástroje	Tvar průřezu	Velikost [mm]	Vůle [mm]	Varianta A	Varianta B	Varianta A	Varianta B
Děrovací	Kruhový	ø 3,5	0,3	Multitool	Multitool	1	1
Děrovací	Kruhový	ø 4,6	0,3	Multitool	Multitool	1	1
Děrovací	Kruhový	ø 6	0,3	Multitool	Multitool	1	1
Děrovací	Kruhový	ø 6,5	0,3	Multitool	Multitool	1	1
Děrovací	Kruhový	ø 8,5	0,3	Multitool	Multitool	1	1
Děrovací	Kruhový	ø 20	0,3	Klasický	Klasický	2	2
Vysekávací	Čtvercový	□6x6	0,3	Rotační	Klasický	8	8
Děrovací	Čtvercový	□8x8	0,3	Rotační	Rotační	6	6
Vysekávací	Čtvercový	□12x12	0,2	Rotační	Rotační	10	10
Děrovací	Čtvercový	□20x20	0,3	Rotační	Klasický	4	4
Vysekávací	Obdélníkový	□80x5	0,3	Rotační	Klasický	3	3

### 3.7.2 Volba nástrojů pro ohraňovací lis [16]

Pro výrobu ohnutí budou voleny nástroje od firmy Trumpf. Jedná se o dvě části nástrojů, a to horní, ohybník, a dolní ohybnici. Ohybní bude volen s označením Trumpf OW 210/S v počtu dvou kusů s celkovou délkou 420 mm. Dolní nástroj s označením Trumpf EV003-W10 o délce 500 mm, vnitřním rádiusem 30° a rádiusem na matici 1 mm. Dorazy jsou univerzální a není potřeba volit speciální. Mohou se libovolně posouvat či otáčet. Těmito nástroji lze vyrobit veškeré potřebné ohyby, které se na součásti nachází.

### 3.8 Volba technologie svařování [45], [46]

Pro dokončení výroby skříně je potřeba pospojovat stěny. Vzhledem k tloušťce materiálu a délce svarů hrozí deformace. Ty budou svařeny. Vybrána je metoda TIG. Nevýhoda této metody je poměrně nízká produktivita, které by u větší série byla ke škodě. Ovšem výhoda je, že se přidává svařovací drát a neotavuje samotná elektroda. Další rozhodující výhody jsou kvalitní pohledové sváry, což u tohoto výrobku je velice výhodné, potom vysoká pevnost spoje. Také je velice vhodná pro tenké materiály.



Obr. 50 Znáznornění svařovaných hran

Na obr. č. 50 lze vidět, jaké hrany se budou svařovat, a celkově se jedná o 4 strany po celé délce. Zohlednit se musí výplň rohů, které byly vytvořeny pro ohyb a zůstaly otvory ve stěnách.

### 3.9 Návrh technologického postupu

Pro potřeby výroby je vytvořen pro ukázkou jednoduchý technologický postup ve formě tabulky (tab. 7) s jednotlivými operacemi a s časy pro operace. Hodnoty jsou brány z obdržených časových hodnot z firmy, ve které je součást vyráběna. Obsahuje všechny potřebné operace pro kompletní výrobu součásti.

Tab. 7 Návrh technologického postupu

Číslo operace	Název operace	Stroj/přístroj	Čas na operaci	Celkový čas pro operaci
		Dílna	Četnost	
05	Vysekávat	Finn Power C5	3,5	
		Lisovna	1	3,5
10	Odhrotovat		1,5	
		Lisovna	1	1,5
15	Ohraňovat	Trumpf TruBend 5170	0,25	
		Lisovna	12	3
20	Svářet	TIG metoda	5,5	
		Svařovna	4	22
25	Začistit po sváření		2,5	
		Svařovna	4	10
30	Balit		1	
		Expedice	1	1
			Celkový čas na výrobu	41

V tabulce lze vidět, že výroba bude na 6 operací. Celkový čas pro výrobu součásti je 41 minut. Výrobní čas celé série lze určit vztahem:

$$T_c = T_{ks} \cdot P_d [\text{min}] = 41 \cdot 200 = 8200 \text{ min} = 137 \text{ h} \quad (3.2)$$

$T_c$  – celkový čas na výrobu série [min]

$T_{ks}$  – potřebný čas na výrobu jednoho kusu [min]

$P_d$  – vyráběný počet dílů [ks]

Výroba celé série bude trvat 137 hodin.

## 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z dostupné cenové nabídky a rozboru ceny výroby z firmy, ve které probíhá výroba, bude proveden rozbor ceny na výrobu celé série, případná alternativní metoda a potřebný počet kusů plechů. Z tohoto lze provést ekonomické hodnocení. V tabulce níže jsou obsaženy informace o četnosti jednotlivých operací, potřebného času na každou operaci a ceny práce, případně materiálu.

Tab. 8 Náklady na výrobu

	Čas na operaci [min]	Cena za operaci [Kč]	Četnost [-]	Čas·četnost	Cena·četnost	Cena materiálu [Kč]
Vysekání	3,5	3,82	1	3,5	3,82	615,46
Odhrotování	1,5	1,15	1	1,5	1,15	
Ohraňování	0,25	0,26	12	3	3,12	
Sváření	5,5	5,42	4	22	21,68	
Čištění po sváření	2,5	2,48	4	10	9,92	
Balení	1	0,73	1	1	0,73	5
				Celkový čas výroby [min]	41	
				Celková cena materiálu [Kč]	620,46	
				Náklady na výrobu [Kč]	646,4	
				Celková cena výroby [Kč]	1266,86	

Je potřeba spočítat, kolik plechů je potřeba na celou sérii. To lze zjistit vztahem:

$$P_{\text{cel}} = \frac{P_d}{P_{\text{ksp}}} [\text{ks}] = \frac{200}{8} = 25 \text{ ks} \quad (4.1)$$

$P_{\text{cel}}$  – potřebný počet plechů [ks]

$P_{\text{ksp}}$  – počet kusů na plechu [ks]

Pro zadanou výrobu bude potřeba 25 kusů plechů. Využití plechu bylo provedeno pomocí programu Autodesk Inventor 2018 a vyšlo na 56 %. Z toho lze usoudit, že využití není příliš vysoké, ale vzhledem k tomu, že se na součásti nachází mnoho otvorů a část odpadů je obsažena ve vystřihování tvaru, tak toto číslo není příliš malé. Výše uvedená cena 1267 Kč platí pro výrobu od 101 do 200 kusů. Ovšem v cenové nabídce je cena od 201 kusů 1146 Kč. Z tohoto vyplývá, že je vhodnější zvolit větší počet kusů. Náklady by se nezvýšily a byly by k dispozici náhradní díly v případě poškození některých dílů nebo potřeby výměny.

Náklady na celkovou výrobu:

$$N_c = P_d \cdot N_{\text{ks}} [\text{Kč}] = 200 \cdot 1267 = 253\,400 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

$N_c$  – celkové náklady [Kč]

$N_{\text{ks200}}$  – náklady na kus (při 200 kusech) [Kč]

Pokud by měla být investována stejná cena, bylo by možné vyrobit tento počet kusů:

$$P_{\text{d2}} = \frac{N_c}{N_{\text{ks201}}} [\text{Kč}] = \frac{253400}{1146} = 221,12 \Rightarrow 221 \text{ ks} \quad (4.3)$$

Při stejné ceně lze vyrobit 221 ks. Na základě tohoto by bylo vhodné změnit zadání a zvýšit vyráběný počet kusů.



## 5 ZÁVĚRY

Součástí, která byla řešena, je skříň pro elektrotechniku. Jedná se o díl v kompletní sestavě, která obsahuje panel na ovládání a kontrolu stavu, servisní panel a vodotěsné víko. Je připevněna na dvou L-profilech, které jsou připevněny k celkové konstrukci. Na aktivní chlazení slouží dva vyměnitelné větráky v samostatném plechovém ústrojí. Skříň je vyrobena z austenitické oceli 17240 s tloušťkou 1,5 mm. Série je stanovena na 200 ks na rok.

Při návrhu technologie výroby byl brán ohled na velikost série, při které byl potřeba zohlednit nízký počet kusů. Touto podmínkou byly vyloučeny všechny technologie s nutnou výrobou speciálních nástrojů, jelikož by se tato série nevyplatila. Ohled byl též brán na dostupnost strojů ve firmě, ve které se díl vyráběl.

3D model součásti a její sestava byla vytvořena v programu Autodesk Inventor 2018. Na základě modelu byl připraven nástřihový plán pro vysekávací lis a ohybový plán pro ohraňovací lis. Na základě výpočtů a konstrukce byly vybrány stroje a následně k nim potřebný počet nástrojů. Při volbě nástrojů se bral zřetel na dostupnost nástrojů ve firmě, ale jelikož se jedná o normalizované běžně používané nástroje, nebyl s volbou problém. Vzhledem ke konstrukci matrice byl vnitřní rádius zvolen 1 mm a v závislosti na tom byl vypočítán rozvinutý tvar, který činí 646×546 mm.

Z výpočtů síly potřebné pro vystřižení součásti byl vybrán největší obvod otvoru, kdy se jednalo o střižník 80×5 mm a vypočítána síla o velikosti 157 kN a na ohyb vypočítána síla 125 kN. Na základě toho byl zvolen stroj pro vysekávání, a to hydraulický horizontální lis s výsekovou silou 300 kN a pro ohyb ohraňovací lis o 1700 kN. U obou strojů byla zaručena výrobitelnost součásti. Ze zjištěných výrobních časů byl spočítán čas výroby na jeden kus a pro celou sérii. Jeden kus se bude vyrábět 41 minut a celá série 137 hodin.

V následující části, technicko-ekonomické, se provedlo zhodnocení výroby z ekonomického hlediska. Na základě cenové nabídky byly zjištěny náklady na výrobu jednoho kusu, a to 1267 Kč. Tím by celá série vyšla na 253 400 Kč. Ovšem od 201 kusu se snižuje cena na 1146 Kč za kus, tudíž by při stejných nákladech bylo možné vyrobit 221 ks.

Z těchto závěrů lze usoudit, že zadaná součást s těmito postupy a stroji je výrobitelná.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [47]

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Milan HORÁČEK. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001, 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
2. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.
3. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
4. *HardwareInfo* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.hardwareinfo.cz/>
5. *Elektro průmysl* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/aktivni-a-pasivni-chlazení-skrini-s-elektrickým-zarizením?fbclid=IwAR2DbmtdxANSbsNfWcoVziFeMFwLoMenanmu4Y7-4aWG7j1-rJxwBszzdK0>
6. *Ohraňování plechů* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://www.ohranovaniplechu.cz/>
7. *Prostor Design* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.prostor-design.cz/>
8. *Thermo electric* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.thermoelectric.com/>
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
10. *ALFUN* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/>
11. *INOX* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/>
12. *CYKLOS* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.cyklos.cz/>
13. DVOŘÁK, Milan, Karel NOVOTNÝ a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 171 s. ISBN 80-214-2340-4.
14. *FESTOOL* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: <http://www.vyrobaforem.cz/>
15. *FORMETAL* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/>
16. *TRUMPF* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.trumpf.com/>
17. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření: Část I. 1*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4220-7.
18. *Promo agentura* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://promo-agentura.cz>
19. *AKADEA* [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.aamarket.cz/>
20. *ZIHOS* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.zihos.cz/>

21. *FAMTOOLS* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/>
22. TSCHÄTTSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, c2006, 406 s. ISBN 35-403-3216-2.
23. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004, 219 s. ISBN 08-311-3182-9.
24. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/kapitola\\_4.htm#4.3.1.1](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/kapitola_4.htm#4.3.1.1)
25. *KSP TUL* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/>
26. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Brno: VUT, 1992, 167 s. ISBN 80-214-0415-9.
27. *CANMET* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.canmet.eu/>
28. *EMO HANNOVER* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://www.emo-hannover.de/>
29. *BEST SIGMA* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.bestsigma.com/>
30. *PRIMA INDUSTRIE* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.primaindustrie.com/>
31. *TOP LANTIS* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.toplantis.cz/>
32. *STANS TEK* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.stanstek.se/>
33. *MATE* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.mate.com/>
34. *PRIMA POWER* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.primapower.com/>
35. *PROTECH SPT* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.protech-spt.cz/>
36. *BYSTRONIC* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.bystronic.cz/>
37. *CARVERON* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.carveron.hu>
38. *NTS INDUSTRY* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://nts-industry.com/>
39. *OBEKO* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.obeco.sk/>
40. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
41. *STC* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://www.smarttrading.cz>
42. *MECALUX* [online]. [cit. 2019-05-112]. Dostupné z: <https://www.logismarket.pt/ip/prima-power-punconadoras-catalogo-punconadoras-prima-power-serie-c-667963.pdf>
43. *LAMIERTECH* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: [http://www.lamiertech.com/en\\_turret-punch-press-finn-power-c5\\_03\\_postid\\_item-5a952ab875807](http://www.lamiertech.com/en_turret-punch-press-finn-power-c5_03_postid_item-5a952ab875807)

44. *NETBID* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostępne z: <https://www.netbid.com/pl/aukcje/przegląd-szczegóły/17158946-Trumpf-TruBend-5170-hydraulic-2-pillar-press-brake-160/>
45. *SVARTOP* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostępne z: <https://www.svartop.cz/clanky/svarovani-nerezu/>
46. *KONSTRUKCE* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostępne z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/svarovani-slabych-plechu/>
47. *Citace PRO* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostępne z: <https://www.citacepro.com/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$A_{ov}$	Vykonaná práce	[J]
$A_s$	Střižná práce	[J]
$B$	Šířka ohýbaného materiálu	[mm]
$c_p$	Součinitel minimálního poloměru ohybu	[mm]
$c_s$	Součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
$E$	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$F_{ov}$	Velikost ohybové síly	[N]
$F_s$	Střižná síla	[MPa]
$H$	Minimální výška ramene	[mm]
$h_o$	Dráha ohybníku	[mm]
$l$	Délka neutrální vrstvy	[mm]
$L_c$	Celková délka polotovaru v jednotlivých směrech	[mm]
$l_o$	Délka střižné křivky	[mm]
$l_p$	Vzdálenost podpěr ohybnice	[mm]
$m_v$	Koeficient zaplnění pracovní plochy diagramu	[-]
$N_c$	Celkové náklady	[Kč]
$N_{ks200}$	Náklady na kus při 200 ks	[Kč]
$N_{ks201}$	Náklady na kus při 201 ks	[Kč]
$P_{cel}$	Potřebný počet plechů	[ks]
$P_d$	Vyráběný počet dílů	[ks]
$P_{ksp}$	Počet kusů na plech	[ks]
$R$	Vnitřní polomer ohybu	[mm]
$R_e$	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti polotovaru	[MPa]
$R_{max}$	Maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	Minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_o$	Poloměr zaoblení na vnitřní straně	[mm]
$S$	Střižní plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$s$	Tloušťka polotovaru	[mm]
$s_A$	Dráha stříhání plechu	[mm]
$T_c$	Celkový čas na výrobu série	[min]
$T_{ks}$	Potřebný čas na výrobu jednoho kusu	[min]
$u$	Minimální vzdálenost otvoru od ramene	[mm]
$v$	Střižná vůle	[mm]
$x$	Součinitel posunutí neutrální osy	[-]
$x_{0,67}$	Hodnota x pro vypočtený poměr	[-]
$z$	Střižná mezera	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
$\alpha$	úhel ohybu	[°]
$\beta$	úhel odpružení	[°]
$\varepsilon_P$	mezní prodloužení	[-]
$\eta$	Součinitel otupení	[-]
$\lambda$	součinitel plnosti diagramu	[-]
$\rho$	poloměr posunuté neutrální vrstvy	[mm]
$\tau_s$	Pevnost materiálu ve střihu	[MPa]



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Skříně na chlazení elektronických součástek [6], [7], [8].....	10
Obr. 2 Model chladicí skříně zepředu .....	11
Obr. 3 Model chladicí skříně zezadu.....	11
Obr. 4 Střížný nástroj [12] .....	12
Obr. 5 Řezání laserem [18] .....	12
Obr. 6 Hydraulický vysekávací lis [17] .....	13
Obr. 7 Ruční ohýbačka [19] .....	13
Obr. 8 Postupový ohýbací nástroj [20] .....	13
Obr. 9 Postupový sdružený nástroj [21].....	14
Obr. 10 Ohraňovací lis [6] .....	14
Obr. 11 Fáze stříhání [9] .....	15
Obr. 12 Střih s rozdílnou střížnou vůlí [9] .....	16
Obr. 13 Proces ohýbání [25] .....	17
Obr. 14 Princip ohraňování [25] .....	18
Obr. 15 Posunutí neutrální osy [25] .....	19
Obr. 16 Ohyb tvaru V [25].....	20
Obr. 17 Vliv vláken na ohýbání [24] .....	20
Obr. 18 Ukázka vysekávacího lisu [28] .....	21
Obr. 19 Ukázka ohraňovacího lisu [29] .....	21
Obr. 20 Možné varianty rozmístění nástrojů [37].....	22
Obr. 21 Ukázka děrovacího nástroje [31] .....	22
Obr. 22 Ukázka dělicího nástroje [31] .....	23
Obr. 23 Ukázka nástroje multitool [38] .....	23
Obr. 24 Ohraňovací nástroj [36] .....	24
Obr. 25 Ukázka matrice [39].....	24
Obr. 26 Ukázka ohybníku [16] .....	25
Obr. 27 Minimální vzdálenost otvoru .....	26
Obr. 28 Minimální velikost ramena .....	26
Obr. 29 Model skříně na elektronické součásti .....	27
Obr. 30 Vzdálenost otvoru .....	27
Obr. 31 Velikost ramene .....	27
Obr. 32 Označení souřadnicového systému .....	29
Obr. 33 Označení jednotlivých úseků .....	29
Obr. 34 Nástřihový plán varianta A .....	31
Obr. 35 Nástřihový plán varianta B .....	31
Obr. 36 Střížný plán – děrování .....	32
Obr. 37 Střížný plán – dělení .....	32
Obr. 38 Ohybový plán součásti .....	33
Obr. 39 Ohyb – I. fáze.....	33
Obr. 40 Výsledný ohyb – I. fáze .....	33
Obr. 41 Ohyb – II. fáze .....	34
Obr. 42 Výsledný ohyb – II. fáze .....	34

Obr. 43 Ohyb – III. fáze .....	34
Obr. 44 Výsledný ohyb – III. fáze.....	34
Obr. 45 Ohyb – IV. fáze.....	35
Obr. 46 Výsledný ohyb – IV. fáze .....	35
Obr. 47 Vysekávací lis FINN POWER C5 [41] .....	35
Obr. 48 Ohraňovací lis TruBend 5170 [44] .....	36
Obr. 49 Umístění nástrojů ve hlavici .....	37
Obr. 50 Znárodnění svařovaných hran .....	38

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu 17 240 [10], [11]. ....	11
Tab. 2 Hodnoty součinitele $x$ závislé na poměru $R$ a $s$ [25]. .....	19
Tab. 3 Hodnoty jednotlivých úseků polotovaru.....	29
Tab. 4 Vlastnosti stroje FINN POWER C5 [12], [41], [42], [43].....	35
Tab. 5 Vlastnosti stroje TruBend 5170 [12], [16].....	36
Tab. 6 Tabulka nástrojů pro dělení. ....	37
Tab. 7 Návrh technologického postupu .....	39
Tab. 8 Náklady na výrobu.....	40

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Parametry vysekávacího lisu Finn Power C5 [43]
- Příloha 2 Parametry ohraňovacího lisu TruBend 5170 [16]
- Příloha 3 Parametry matrice EV003 R3 30° [16]
- Příloha 4 Parametry ohybníku OW210/S [16]

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

Chladicí skříň      BP-01-HAL-01

## **Příloha 1 Parametry vysekávacího lisu Finn Power C5 [43]**

<b>New in</b>	2004
<b>Ram force</b>	300 kN
<b>Numeric Control</b>	Siemens Sinumerik 840D
<b>Conditions</b>	Used and refurbished

<b>Sheet size X x Y, max.</b>	2530x1270 mm
<b>X-Traverse</b>	2584 mm
<b>Y-Traverse</b>	1317 mm
<b>X-traverse, axis speed max.</b>	90 m/min
<b>Y-traverse, axis speed max.</b>	60 m/min
<b>Positioning speed, max.</b>	108 m/min

<b>Punch diameter, max.</b>	89 mm
<b>Material thickness, max.</b>	8,0 mm
<b>Punch stroke</b>	Servo hydraulic
<b>Clamp</b>	3pcs pneumatic
<b>Sheet weight, max.</b>	200 kg
<b>Number of tool stations in turret</b>	20
<b>Colour</b>	Finn-Power RAL5015

<b>Weight</b>	10.500 kg
<b>Max. air consumption</b>	5 NI/s
<b>Requirements for connection power</b>	80 kVA
<b>Average power consumption</b>	30 kW

### **Options:**

- Brush tables
- Third clamp with automatic move clamp (PCS)
- Upforming system (upforming stations are not included)
- Scrap conveyor (SC1)
- Photoelectric safety beam and safety fences

## Příloha 2 Parametry ohraňovacího lisu TruBend 5170 [16]

TruBend 5085, TruBend 5130, TruBend 5170, TruBend 5230, TruBend 5320

	TruBend 5085	TruBend 5130	TruBend 5170	TruBend 5230	TruBend 5320
Press force	850 kN	1300 kN	1700 kN	2300 kN	3200 kN
Bending length	2210/2720 <sup>[1]</sup> mm	3230 mm	3230/4250 <sup>[1]</sup> mm	3230/4250 <sup>[1]</sup> mm	4420 mm
Width between columns	1750/2260 <sup>[1]</sup> mm	2690 mm	2690/3680 <sup>[1]</sup> mm	2690/3680 <sup>[1]</sup> mm	3680 mm
Max. table/press beam distance	505/735 <sup>[1]</sup> mm	505/735 <sup>[1]</sup> mm	735 mm	735 mm	735 mm
Usable open height	385/615 <sup>[1]</sup> mm	385/615 <sup>[1]</sup> mm	615 mm	615 mm	615 mm
Throat depth	420 mm	420 mm	420 mm	420 mm	420 mm
Working height <sup>[2]</sup>	1095 – 1115 mm	1095 – 1115 mm	1095 – 1115 mm	1095 – 1115 mm	1110 – 1130 mm
Press beam inclined position	±10 mm	± 10 mm	± 10 mm	± 10 mm	± 10 mm
<b>Speeds<sup>[3]</sup></b>					
Y axis rapid traverse	220 mm/s	220 mm/s	220 mm/s	220 mm/s	220 mm/s
Y axis press operation <sup>[4]</sup>	Max. 25 <sup>[4]</sup> mm/s	Max. 25 <sup>[4]</sup> mm/s	Max. 25 <sup>[4]</sup> mm/s	Max. 25 <sup>[4]</sup> mm/s	Max. 25 <sup>[4]</sup> mm/s
Y axis return speed	220 mm/s	220 mm/s	220 mm/s	220 mm/s	220 mm/s
X axis <sup>[5]</sup>	1000/1750 mm/s	1000/1750 mm/s	1000/1750 mm/s	1000/1750 mm/s	1000/1750 mm/s
R axis	330 mm/s	330 mm/s	330 mm/s	330 mm/s	330 mm/s
Z axis <sup>[5]</sup>	1750/2500 mm/s	1750/2500 mm/s	1750/2500 mm/s	1750/2500 mm/s	1750/2500 mm/s
<b>Precision</b>					
Y axis	0.005 mm	0.005 mm	0.005 mm	0.005 mm	0.005 mm
X axis	0.04 mm	0.04 mm	0.04 mm	0.04 mm	0.04 mm
R axis	0.08 mm	0.08 mm	0.08 mm	0.08 mm	0.08 mm
<b>Traverse paths</b>					
Y axis stroke	215/445 <sup>[1]</sup> mm	215/445 <sup>[1]</sup> mm	445 mm	445 mm	445 mm
X axis traverse path	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm
Max. stop range in X <sup>[5]</sup>	860/1000 mm	860/1000 mm	860/1000 mm	860/1000 mm	860/1000 mm
R axis traverse path	250 mm	250 mm	250 mm	250 mm	250 mm
<b>User interface</b>					
	TruBend Touchpoint	TruBend Touchpoint	TruBend Touchpoint	TruBend Touchpoint	TruBend Touchpoint
<b>Dimensions and weight<sup>[6]</sup></b>					
Length x width	3020 x 1800 mm 3530 x 1800 <sup>[1]</sup> mm	3980 x 1800 mm	3980 x 1900 mm 4970 x 1900 <sup>[1]</sup> mm	4150 x 2055 mm 5140 x 2055 <sup>[1]</sup> mm	5180 x 2055 mm
Height	2375/2835 <sup>[1]</sup> mm	2375/2835 <sup>[1]</sup> mm	3000 mm	3200 mm	3200 mm
Weight	8000/8700 <sup>[1]</sup> kg	10700/11800 <sup>[1]</sup> kg	14150/17850 <sup>[1]</sup> kg	17200/19850 <sup>[1]</sup> kg	23400 kg

<sup>[1]</sup> Second value for the enlarged design respectively (option).

<sup>[2]</sup> With lower tool height of 100 mm. Working height varies depending on the height of the material being set up on the machine.

<sup>[3]</sup> Traverse speed can be freely programmed.

<sup>[4]</sup> With working speed of 10 mm/s.

<sup>[5]</sup> Depending on the selected backgauge.

<sup>[6]</sup> Data relates to the basic machine without options.

Subject to alteration. Only specifications in our offer and order confirmation are binding.

Příloha 3 Parametry matrice EV003 R3 30° [16]

Dies W10

TRUMPF

Die

400 kN/m

42 Cr Mo 4  
1080 - 1180 N/mm<sup>2</sup>

16,5 kg/m

~60 HRC

9,5 mm

10mm (s=2mm)

Bore hole existing  
(from 25 mm)

Delivery time: ex warehouse

EV003 R3 30°

Die width: 10 mm

Angle: 30°

Height: 100 mm

Mat. No.

Price

Var. B

4050 0857866 - EUR

3050 0849665 - EUR

2550 0860512 - EUR

2050 0859474 - EUR

1250 0860511 - EUR

1050 0867289 - EUR

Var. A

2050 0860507 - EUR

1250 0860506 - EUR

1050 1576412 - EUR

550 1604057 - EUR

Block 250

250 0849664 - EUR

Single

500 0849663 - EUR

300 0849662 - EUR

200 0849661 - EUR

100 0849654 - EUR

50 0849660 - EUR

45 0849659 - EUR

40 0849658 - EUR

35 0849657 - EUR

30 0849656 - EUR

25 0849655 - EUR

20 1465591 - EUR

15 1444679 - EUR

10 1465590 - EUR

25 with groove 0869968 - EUR

Lengths in [mm]



Punch OW210/S H=140mm



Delivery time: ex warehouse

OW210	Radius:	R1,0 mm
	Angle:	28°
	Height:	140 mm
	Mat. No.	Price
<b>Var. B</b>		
4050	0824010	- EUR
3050	0824008	- EUR
2550	0835193	- EUR
2050	0824006	- EUR
1250	0825720	- EUR
1050	0867279	- EUR
<b>Var. A</b>		
2050	0824000	- EUR
1250	0825719	- EUR
1050	1576244	- EUR
550	1607489	- EUR
<b>Block 250</b>		
250	0825717	- EUR
<b>Single</b>		
500	0823995	- EUR
300	0823993	- EUR
200	0823991	- EUR
100	0824653	- EUR
Horn left 100	0824651	- EUR
Horn right 100	0824652	- EUR
50	0824650	- EUR
45	0824649	- EUR
40	0824648	- EUR
35	0824647	- EUR
30	0824646	- EUR
25	0824641	- EUR
20	0836712	- EUR
15	0836711	- EUR
10	0836710	- EUR

Lengths in [mm]

## Technical data



400 kN/m



1300 kN/m

42 Cr Mo 4  
1080 - 1180 N/mm<sup>2</sup>

28,2 kg/m



~60 HRC



78 mm



25 mm - 300 mm

## Horn left / right

